Métodos cuantitativos para los negocios

Decimosegunda edición

BARRY RENDER · RALPH M. STAIR, JR.
MICHAEL E. HANNA · TREVOR S. HALE

Pearson

ACCESO A LOS MÓDULOS ADICIONALES

Y PROGRAMAS MENCIONADOS EN EL LIBRO

Para acceder a los Módulos y a los programas Excel QM y POM-QM mencionados en el texto

visite el sitio web de este libro o acceda directamente a:

http://www.biblionline.pearson.com

Seleccione la opción **Registrarse** e ingrese sus datos
junto con el siguiente código.

(Utilice una moneda para descubrir el código de registro.

No use objetos filosos porque podría dañar el código).

IMPORTANTE

¡Este código de registro sólo puede usarse una vez y no será reemplazado en caso de daño!

Asegúrese que no aparezca descubierto.

Datos de catalogación bibliográfica

RENDER, BARRY, STAIR, RALPH M., HANNA, MICHAEL E., HALE, TREVOR S.

Métodos cuantitativos para los negocios
Decimosegunda edición

PEARSON EDUCACIÓN, México, 2016

ISBN: 978-607-32-3761-1
Área: Matemáticas

Formato: 21.5 × 27.5 cm Páginas: 608

Authorized translation from the English Language edition entitled *Quantitative Analysis for Management, 12th Edition*, by *Barry Render, Ralph M. Stair, Jr., Michael E. Hanna and Trevor S. Hale*, published by Pearson Education, Inc., Copyright © 2015. All rights reserved.
ISBN 9780133507331

Traducción autorizada de la edición en idioma inglés titulada *Quantitative Analysis for Management, 12a edición*, por *Barry Render, Ralph M. Stair, Jr., Michael E. Hanna y Trevor S. Hale*, publicada por Pearson Education, Inc., Copyright © 2015. Todos los derechos reservados.

Esta edición en español es la única autorizada.

Edición en español

Director General:	Sergio Fonseca Garza
Director de Contenidos y Servicios Digitales:	Alan David Palau
Gerente de Contenidos y Servicios Editoriales:	Jorge Luis Íñiguez Caso
Coordinador de Contenidos, Educación Superior:	Guillermo Domínguez Chávez guillermo.dominguez@pearson.com
Especialista en Contenidos de Aprendizaje:	Rosa Díaz Sandoval
Especialista en Desarrollo de Contenidos:	Bernardino Gutiérrez Hernández
Supervisor de Arte y Diseño:	José Hernández Garduño

DECIMOSEGUNDA EDICIÓN, 2016

D.R. © 2016 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
Antonio Dovalí Jaime núm. 70,
Torre B, Piso 6, Col. Zedec Ed Plaza Santa Fe
Delegación Álvaro Obregón
C.P. 01210, Ciudad de México

Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. Reg. núm. 1031.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso

El préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión de uso de este ejemplar requerirá también la autorización del editor o de sus representantes.

ISBN VERSIÓN IMPRESA: 978-607-32-3761-1
ISBN VERSIÓN E-BOOK: 978-607-32-3762-8

Impreso en México. *Printed in Mexico*.
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 19 18 17 16

Pearson

CAPÍTULO 6

Modelos de control de inventarios

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de estudiar este capítulo, el alumno será capaz de:

1. Comprender la importancia del control de inventarios y el análisis ABC.
2. Utilizar la cantidad económica de pedido (EOQ) para determinar la cantidad a ordenar.
3. Calcular el punto de reorden (ROP) para determinar cuándo se debe pedir más inventario.
4. Manejar problemas de inventario que permiten descuentos por cantidad o recepción no instantánea.
5. Entender el uso del inventario de seguridad.
6. Describir el uso de la planeación de las necesidades de materiales para resolver problemas de inventario y de demanda dependiente.
7. Analizar los conceptos del inventario justo a tiempo para reducir los niveles y los costos de inventario.
8. Analizar los sistemas de planeación de recursos empresariales.

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

6.1 Introducción
6.2 Importancia del control de inventarios
6.3 Decisiones de inventario
6.4 Cantidad económica de pedido: determinación de la cantidad a ordenar
6.5 Punto de reorden: determinación de cuándo hacer un pedido
6.6 EOQ sin el supuesto de recepción instantánea
6.7 Modelos de descuento por cantidad
6.8 Uso del inventario de seguridad
6.9 Modelos de inventario de un solo periodo
6.10 Análisis ABC
6.11 Demanda dependiente: el caso de la planeación de las necesidades de materiales
6.12 Control de inventarios justo a tiempo
6.13 Planeación de recursos empresariales

Resumen • Glosario • Ecuaciones clave • Problemas resueltos • Autoevaluación • Preguntas para análisis y problemas • Estudio de caso: Martin-Pullin Bicycle Corporation • Estudios de caso en Internet • Bibliografía

Apéndice 6.1: Control de inventarios con QM para Windows

Resumen

En este capítulo se presentan los fundamentos de la teoría del control de inventarios. Se demuestra que los dos problemas más importantes son: **1.** cuánto ordenar y **2.** cuándo hacer el pedido.

Investigamos la cantidad económica de pedido, que determina la cantidad a ordenar, y el punto de pedido, que indica cuándo se debe hacer el pedido. Además, se exploró el uso del análisis de sensibilidad para determinar qué ocurre con los cálculos cuando cambia uno o más de los valores utilizados en una de las ecuaciones.

El modelo de inventario de la EOQ básico presentado en este capítulo adopta una serie de supuestos: **1.** la demanda y los tiempos de entrega son conocidos y constantes, **2.** la recepción del inventario es instantánea, **3.** no hay descuentos por cantidad, **4.** no hay desabasto ni escasez y **5.** los únicos costos variables son los costos de pedido y los costos de almacenamiento. Si estos supuestos son válidos, el modelo de inventario de la EOQ ofrece soluciones óptimas. Por otro lado, si estos supuestos no se cumplen, el modelo de la EOQ básico no es aplicable. En tales casos, se requieren modelos más complejos, incluyendo los modelos de corrida de la producción, de los descuentos por cantidad y del inventario de seguridad. Cuando el artículo de inventario se usará en un solo periodo de tiempo, se utiliza el método del análisis marginal. El análisis ABC sirve para determinar qué elementos representan el mayor costo potencial de inventario, de modo que estos artículos se puedan manejar con más cuidado.

Cuando la demanda de inventario no es independiente de la demanda de otro producto, se requiere una técnica como la MRP, la cual se puede utilizar para determinar las necesidades brutas y netas de material para los productos. Para implementar grandes sistemas de inventario, es necesario aplicar con éxito aplicaciones computacionales, incluyendo sistemas de MRP. En la actualidad, muchas empresas están utilizando el software de ERP para integrar todas las operaciones dentro de una organización, incluyendo el inventario, la contabilidad, las finanzas y los recursos humanos.

El sistema JIT puede reducir los niveles de inventario, disminuir los costos y hacer que un proceso de manufactura sea más eficiente. Kanban es una palabra japonesa que significa “tarjeta”, y es una forma de poner en práctica el enfoque JIT.

Glosario

Análisis ABC Un análisis que divide el inventario en tres grupos. El grupo A es más importante que el grupo B, que a su vez es más importante que el grupo C.

Análisis de sensibilidad El proceso para determinar qué tan sensible es la solución óptima ante los cambios en los valores utilizados en las ecuaciones.

Análisis marginal Una técnica que utiliza la utilidad y la pérdida marginales para determinar las políticas óptimas para la toma de decisiones. El análisis marginal se utiliza cuando el número de alternativas y estados de la naturaleza es grande.

Cantidad económica de pedido (EOQ) La cantidad de inventario ordenada que minimiza el costo total de inventario. También se conoce como cantidad de pedido óptima, o Q^*.

Costo anual de instalación El costo por configurar el proceso de fabricación o de producción para ejecutar el modelo de producción.

Desabasto Una situación que se produce cuando no existe inventario disponible.

Descuentos por cantidad El costo por unidad cuando se colocan grandes pedidos de un artículo de inventario.

Inventario de seguridad Inventario adicional que se utiliza para ayudar a evitar desabasto.

Inventario justo a tiempo (JIT) Un enfoque en el que el inventario llega justo a tiempo para utilizarse en el proceso de manufactura.

Inventario promedio El promedio del inventario disponible. En este capítulo, el inventario promedio es $Q/2$ para el modelo de la EOQ.

Kanban Un sistema JIT manual desarrollado por los japoneses. Kanban significa “tarjeta” en japonés.

Lista de materiales (BOM) Un árbol de estructura de materiales de los componentes para un producto, que contiene la descripción y la cantidad necesaria de componentes para fabricar una unidad de ese producto.

Modelo de corrida de la producción Un modelo de inventarios donde el inventario se produce o fabrica a través del tiempo en lugar de ser ordenado o comprado. Este modelo elimina el supuesto de la recepción instantánea.

Nivel de servicio La probabilidad, expresada como un porcentaje, de que no haya un desabasto. Nivel de servicio = 1 − Probabilidad de un desabasto.

Pérdida marginal La pérdida en que se incurriría por almacenar y no vender una unidad adicional.

Planeación de las necesidades de materiales (MRP) Un modelo de inventarios que puede manejar la demanda dependiente.

Planeación de recursos empresariales (ERP) Un sistema de información computarizado que integra y coordina las operaciones de una empresa.

Posición de inventario La cantidad de inventario disponible, más la cantidad de los pedidos que se han realizado, pero que aún no se reciben.

Punto de reorden (ROP) El número disponible de unidades cuando se hace un pedido de más inventario.

Recepción instantánea de inventario Un sistema en el cual se recibe o se obtiene el inventario en un instante y no en un periodo de tiempo.

Tiempo de entrega El tiempo que transcurre hasta recibir un pedido después de haber colocado la orden (en el capítulo se llama L).

Utilidad marginal La utilidad adicional que se obtiene por almacenar y vender una unidad más.

Ecuaciones clave

Las ecuaciones 6-1 a 6-8 están relacionadas con la cantidad económica de pedido (EOQ).

(6-1) Nivel de inventario promedio $= \frac{Q}{2}$

(6-2) Costo anual de pedido $= \frac{D}{Q} C_o$

(6-3) Costo anual de almacenamiento $= \frac{Q}{2} C_h$

(6-4) $\text{EOQ} = Q^* = \sqrt{\frac{2DC_o}{C_h}}$

(6-5) $CT = \frac{D}{Q} C_o + \frac{Q}{2} C_h$

Costo de inventario relevante total.

(6-6) Nivel monetario promedio $= \frac{(CQ)}{2}$

(6-7) $Q = \sqrt{\frac{2DC_o}{IC}}$

EOQ con C_h expresado como porcentaje del costo unitario.

(6-8) $\text{ROP} = d \times L$

Punto de reorden: d es la demanda diaria y L es el tiempo de entrega en días.

Las ecuaciones 6-9 a 6-13 se relacionan con el modelo de corrida de la producción.

(6-9) Inventario promedio $= \frac{Q}{2}\left(1 - \frac{d}{p}\right)$

(6-10) Costo anual de almacenamiento $= \frac{Q}{2}\left(1 - \frac{d}{p}\right)C_h$

(6-11) Costo anual de instalación $= \frac{D}{Q} C_s$

(6-12) Costo anual de pedido $= \frac{D}{Q} C_o$

(6-13) $Q^* = \sqrt{\frac{2DC_s}{C_h\left(1 - \frac{d}{p}\right)}}$

Cantidad óptima de producción.

La ecuación 6-14 se utiliza para el modelo de descuentos por cantidad.

(6-14) Costo total $= DC + \frac{D}{Q} C_o + \frac{Q}{2} C_h$

Costo total de inventario (incluyendo el costo de compra).

Las ecuaciones 6-15 a 6-20 se utilizan cuando se requiere un inventario de seguridad.

(6-15) ROP = (Demanda promedio durante el tiempo de entrega) + IS

Fórmula general del punto de reorden para determinar cuándo se almacena un inventario de seguridad (IS).

(6-16) ROP = (Demanda promedio durante el tiempo de entrega) + $Z\sigma_{dLT}$

Fórmula del punto de reorden cuando la demanda durante el tiempo de entrega se distribuye normalmente, con una desviación estándar de σ_{dLT}.

(6-17) $\text{ROP} = \bar{d}L + Z(\sigma_d\sqrt{L})$

Fórmula para determinar el punto de reorden cuando la demanda diaria se distribuye normalmente, pero el tiempo de entrega es constante; donde $\bar{d}$ es la demanda diaria promedio, L es el tiempo de entrega constante en días y σ_d es la desviación estándar de la demanda diaria.

(6-18) $\text{ROP} = d\bar{L} + Z(d\sigma_L)$

Fórmula para determinar el punto de reorden cuando la demanda diaria es constante pero el tiempo de entrega se distribuye normalmente, donde $\bar{L}$ es el tiempo de entrega promedio en días, d es la demanda diaria constante y σ_L es la desviación estándar del tiempo de entrega.

(6-19) $\text{ROP} = \bar{d}\,\bar{L} + Z(\sqrt{\bar{L}\sigma_d^2 + \bar{d}^2\sigma_L^2})$

Fórmula para determinar el punto de reorden cuando la demanda diaria y el tiempo de entrega se distribuyen normalmente; donde $\bar{d}$ es la demanda diaria promedio, $\bar{L}$ es el tiempo de entrega promedio en días, σ_L es la desviación estándar del tiempo de entrega y σ_d es la desviación estándar de la demanda diaria.

(6-20) $\text{CTA} = \frac{Q}{2} C_h + (\text{IS})C_h$

Fórmula del costo total anual de almacenamiento cuando se mantiene un inventario de seguridad.

La ecuación 6-21 se utiliza para el análisis marginal.

(6-21) $P \geq \frac{\text{ML}}{\text{ML} + \text{MP}}$

Regla de decisión en el análisis marginal para el almacenamiento de unidades adicionales.

Problemas resueltos

Problema resuelto 6-1

Patterson Electronics suministra circuitos de microcomputadoras a una compañía que incorpora microprocesadores en refrigeradores y otros electrodomésticos. Uno de los componentes tiene una demanda anual de 250 unidades y esto es constante durante todo el año. El costo de almacenamiento se estima en $1 por unidad anual, y el costo de pedido es de $20 por pedido.

a. Para minimizar el costo, ¿cuántas unidades deberían ordenarse cada vez que se hace un pedido?
b. ¿Cuántos pedidos al año se necesitan con una política óptima?
c. ¿Cuál es el inventario promedio, si los costos se reducen al mínimo?
d. Suponga que el costo de pedido no es de $20 y que Patterson ha estado ordenando 150 unidades cada vez que hace un pedido. Para que esta política sea óptima, ¿cuál debería ser el costo de pedido?

Solución

a. Los supuestos de la EOQ se cumplen, por lo que la cantidad de pedido óptima es

$$\text{EOQ} = Q^* = \sqrt{\frac{2DC_o}{C_h}} = \sqrt{\frac{2(250)20}{1}} = 100 \text{ unidades}$$

b. Número de pedidos al año $= \dfrac{D}{Q} = \dfrac{250}{100} = 2.5$ pedidos por año

Observe que esto significa que la empresa colocaría tres pedidos en un año y que el próximo año sólo necesitaría dos pedido, dado que se conservaría algún inventario del año pasado. En promedio, se harían 2.5 pedidos al año.

c. Inventario promedio $= \dfrac{Q}{2} = \dfrac{100}{2} = 500$ unidades

d. Dada una demanda anual de 250, un costo de almacenamiento de $1 y una cantidad a ordenar de 150, Patterson Electronics debe determinar cuál tendría que ser el costo de pedido para que una política de ordenar 150 unidades sea óptima. Con la finalidad de encontrar la respuesta a este problema, debemos resolver la ecuación de la EOQ tradicional para el costo de pedido. Como se observa en los cálculos siguientes, se requiere un costo de pedido de $45 para que la cantidad de pedido de 150 unidades sea óptima.

$$Q = \sqrt{\frac{2DC_o}{C_h}}$$

$$C_o = Q^2 \frac{C_h}{2D}$$

$$= \frac{(150)^2(1)}{2(250)}$$

$$= \frac{22{,}500}{500} = \$45$$

Problema resuelto 6-2

Flemming Accesories produce cortadoras de papel utilizadas en oficinas y tiendas de arte. La minicortadora ha sido uno de sus artículos más populares: su demanda anual es de 6,750 unidades y es constante durante todo el año. Kristen Flemming, propietario de la compañía, produce las minicortadoras en lotes. En promedio, Kristen puede fabricar 125 minicortadoras al día. La demanda de estas máquinas durante el proceso de producción es de 30 por día. El costo de instalación de los equipos necesarios para producir las minicortadoras es de $150. El costo de almacenamiento es de $1 por minicortadora al año. ¿Cuántas minicortadoras debería fabricar Kristen en cada lote?

Solución

Los datos para Flemming Accesories se resumen como sigue:

$$D = 6{,}750 \text{ unidades}$$
$$C_s = \$150$$
$$C_h = \$1$$
$$d = 30 \text{ unidades}$$
$$p = 125 \text{ unidades}$$

Éste es un problema de corrida de la producción que implica una tasa de producción diaria y una tasa de demanda diaria. Los cálculos apropiados se muestran a continuación:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DC_s}{C_h(1 - d/p)}}$$
$$= \sqrt{\frac{2(6{,}750)(150)}{1(1 - 30/125)}}$$
$$= 1{,}632$$

Problema resuelto 6-3

Dorsey Distributors tiene una demanda anual de un detector de metales de 1,400 unidades. Para Dorsey, el costo de un detector típico es de $400. El costo de almacenamiento se estima en 20% del costo unitario y el costo de pedido es de $25 por orden. Si Dorsey ordena en cantidades de 300 o más puede obtener un descuento de 5% sobre el costo de los detectores. ¿Debería Dorsey tomar el descuento por cantidad? Suponga que la demanda es constante.

Solución

La solución a cualquier modelo de descuento por cantidad implica determinar el costo total de cada alternativa después de haber calculado las cantidades y haberlas ajustado para el problema original y para todos los descuentos. El análisis inicia considerando la opción sin descuento:

$$\text{EOQ (sin descuento)} = \sqrt{\frac{2(1{,}400)(25)}{0.2(400)}}$$
$$= 29.6 \text{ unidades}$$

$$\text{Costo total (sin descuento)} = \text{Costo del material} + \text{Costo de pedido} + \text{Costo de almacenamiento}$$
$$= \$400(1{,}400) + \frac{1{,}400(\$25)}{29.6} + \frac{29.6(\$400)(0.2)}{2}$$
$$= \$560{,}000 + \$1{,}183 + \$1{,}183 = \$562{,}366$$

El siguiente paso es calcular el costo total para el descuento:

$$\text{EOQ (con descuento)} = \sqrt{\frac{2(1{,}400)(25)}{0.2(\$380)}}$$
$$= 30.3 \text{ unidades}$$
$$Q(\text{ajustada}) = 300 \text{ unidades}$$

Debido a que esta última cantidad económica de pedido está por debajo del precio de descuento, es necesario ajustar la cantidad hasta 300 unidades. El siguiente paso consiste en calcular el costo total:

$$\text{Costo total (con descuento)} = \text{Costo del material} + \text{Costo de pedido} + \text{Costo de almacenamiento}$$
$$= \$380(1{,}400) + \frac{1{,}400(25)}{300} + \frac{300(\$380)(0.2)}{2}$$
$$= \$532{,}000 + \$117 + \$11{,}400 = \$543{,}517$$

La estrategia óptima es ordenar 300 unidades a un costo total de $543.517.

Problema resuelto 6-4

La compañía F. W. Harris vende un limpiador industrial a un gran número de plantas de producción en el área de Houston. Un análisis de la demanda y los costos se ha traducido en una política de ordenar 300 unidades de este producto cada vez que se hace un pedido. La demanda es constante, en 25 unidades por día. Por un acuerdo con un proveedor, F. W. Harris está dispuesta a aceptar un tiempo de entrega de 20 días dado que dicho proveedor ha proporcionado un excelente precio. ¿Cuál es el punto de reorden? ¿Cuántas unidades debería haber realmente en el inventario al momento de colocar una orden?

Solución

El punto de reorden es

$$\text{ROP} = dxL = 25(20) = 500 \text{ unidades}$$

Esto significa que es necesario colocar una orden en la posición de inventario de 500. Dado que el ROP es mayor que la cantidad de pedido, $Q = 300$, una orden ya debe haber sido colocada, pero aún no ha sido recibida. Así que la posición de inventario debe ser

$$\text{Posición de inventario} = (\text{Inventario disponible}) + (\text{Inventario ordenado})$$
$$500 = 200 + 300$$

Habría 200 unidades disponibles y un pedido de 300 unidades en tránsito.

Problema resuelto 6-5

La B. N. Thayer y D. N. Thaht Computer Company vende una computadora de escritorio que es popular entre los entusiastas de los juegos de video. En los últimos meses, la demanda se ha mantenido relativamente constante, aunque fluctúa día con día. La compañía ordena las cajas para computadora a un proveedor. Cada pedido es de 5,000 cajas en el momento adecuado para evitar desabasto. La demanda durante el tiempo de entrega se distribuye normalmente, con una media de 1,000 unidades y una desviación estándar de 200 unidades. El costo de almacenamiento por unidad por año se estima en $4. ¿Cuánto inventario de seguridad debería conservar la empresa para mantener un nivel de servicio de 96%? ¿Cuál es el punto de reorden? ¿Cuál sería el costo total anual de almacenamiento si se siguiera esta política?

Solución

Con base en la tabla de distribución normal, el valor Z para un nivel de servicio de 96% es aproximadamente de 1.75. La desviación estándar es de 200. El inventario de seguridad se calcula como

$$\text{IS} = Z\sigma_{dLT} = 1.75(200) = 375 \text{ unidades}$$

Para una distribución normal con una media de 1,000, el punto de reorden es

$$\text{ROP} = (\text{Demanda promedio durante el tiempo entrega}) + \text{IS}$$
$$= 1000 + 350 = 1{,}350 \text{ unidades}$$

El costo total anual de almacenamiento es

$$\text{CTA} = \frac{Q}{2}C_h + (IS)C_h = \frac{5{,}000}{2}4 + (375)4 = \$11{,}500$$

Autoevaluación

- Antes de realizar la autoevaluación, consulte los objetivos de aprendizaje al comienzo del capítulo, las notas en los márgenes y el glosario al final del capítulo.
- Consulte las soluciones en la parte final del libro para corregir sus respuestas.
- Vuelva a estudiar las páginas que correspondan a todas las preguntas que respondió incorrectamente o al material del que no se sienta seguro.

1. ¿Cuál de los siguientes es un componente básico de un sistema de control de inventarios?
   a. la planeación de qué inventario almacenar y cómo adquirirlo
   b. el pronóstico de la demanda de piezas y productos
   c. el control de los niveles de inventario
   d. el desarrollo y la implementación de medidas de retroalimentación para revisar los planes y pronósticos
   e. todos los anteriores son componentes de un sistema de control de inventarios
2. ¿Cuál de los siguientes es un uso válido del inventario?
   a. la función de desacoplamiento
   b. aprovechar los descuentos por cantidad
   c. evitar la escasez y el desabasto
   d. suavizar la oferta y la demanda irregulares
   e. todos los anteriores son usos válidos del inventario

3. Uno de los supuestos necesarios para el modelo de la EOQ es el abastecimiento instantáneo. Esto significa que
   a. el tiempo de entrega es cero.
   b. se supone que el tiempo de producción es cero.
   c. todo el pedido se entrega a la vez.
   d. no puede ocurrir reabastecimiento hasta que el inventario disponible sea cero.
4. Si se cumplen los supuestos de la EOQ y una empresa ordena la EOQ cada vez que se hace un pedido, entonces
   a. se minimiza el total de los costos anuales de almacenamiento.
   b. se minimiza el total de los costos anuales de pedido.
   c. se minimiza el total de los costos de inventario.
   d. la cantidad de pedido siempre será menor que el inventario promedio.
5. Si se cumplen los supuestos de la EOQ y una empresa ordena más que la cantidad económica de pedido, entonces
   a. el costo total anual de almacenamiento será mayor que el costo total anual de pedido.
   b. el costo total anual de almacenamiento será menor que el costo total anual de pedido.
   c. el costo total anual de almacenamiento será igual que el costo total anual de pedido.
   d. el costo total anual de almacenamiento será igual que el costo total anual de compra.
6. El punto de reorden
   a. es la cantidad que se ordena cada vez que se realiza un pedido.
   b. es la cantidad de inventario que sería necesaria para satisfacer la demanda durante el tiempo de entrega.
   c. es igual al inventario promedio cuando se cumplen los supuestos de la EOQ.
   d. se supone que es cero si hay reabastecimiento instantáneo.
7. Si se cumplen los supuestos de la EOQ, entonces
   a. el costo anual por desabasto será cero.
   b. el costo total anual de abastecimiento será igual al costo total anual de pedido.
   c. el inventario promedio será la mitad de la cantidad de pedido.
   d. todo lo anterior.
8. En el modelo de corrida de la producción, el nivel máximo de inventario será
   a. mayor que la cantidad de producción.
   b. igual que la cantidad de producción.
   c. menor que la cantidad de producción.
   d. igual que la tasa de producción diaria más la demanda diaria.
9. ¿Por qué el costo anual de compra (de material) no se considera un costo de inventario relevante si se cumplen los supuestos de la EOQ?
   a. Este costo será cero.
   b. Este costo es constante y no se ve afectado por la cantidad de pedido.
   c. Este costo es insignificante en comparación con el resto de los costos de inventario.
   d. Se considera que este costo no es un costo de inventario.
10. Un sistema JIT suele dar como resultado
    a. un bajo costo anual de almacenamiento.
    b. muy pocos pedidos al año.
    c. interrupciones frecuentes en una línea de ensamble.
    d. altos niveles de inventario de seguridad.
11. Los fabricantes utilizan la MRP cuando
    a. la demanda de un producto depende de la demanda de otros productos.
    b. la demanda de cada producto es independiente de la demanda de otros productos.
    c. la demanda es totalmente impredecible.
    d. el costo de compra es extremadamente alto.
12. Al usar el análisis marginal, es necesario abastecer una unidad adicional si
    a. MP = ML.
    b. la probabilidad de vender esa unidad es mayor o igual que MP/(MP + ML).
    c. la probabilidad de vender esa unidad es menor o igual que ML/(MP + ML).
    d. la probabilidad de vender esa unidad es mayor o igual que ML/(MP + ML).
13. Al usar análisis marginal con la distribución normal, si la utilidad marginal es menor que la pérdida marginal, esperamos que la cantidad óptima de abastecimiento sea
    a. mayor que la desviación estándar.
    b. menor que la desviación estándar.
    c. mayor que la media.
    d. menor que la media.
14. La posición de inventario se define como
    a. la cantidad de inventario necesario para satisfacer la demanda durante el tiempo de entrega.
    b. la cantidad de inventario disponible.
    c. la cantidad de inventario pedido.
    d. la suma del inventario disponible y el inventario pedido.

Preguntas para análisis y problemas

Preguntas de análisis

6-1 ¿Por qué es el inventario una consideración importante para los administradores?

6-2 ¿Cuál es el propósito del control de inventarios?

6-3 ¿En qué circunstancias puede usarse el inventario como una cobertura contra la inflación?

6-4 ¿Por qué una empresa no almacena siempre grandes cantidades de inventario para eliminar la escasez y el desabasto?

6-5 ¿Cuáles son algunos de los supuestos que se adoptan al usar la EOQ?

6-6 Comente los principales costos de inventario que se utilizan para determinar la EOQ.

6-7 ¿Qué es el ROP? ¿Cómo se determina?

6-8 Si el ROP es mayor que la cantidad de pedido, explique cómo se implementa el ROP. ¿Puede el ROP ser más del doble de la cantidad de pedido y, si es así, ¿cómo se maneja una situación de este tipo?

6-9 Considere que la demanda anual de un producto arbitrario es de 1,000 unidades al año y que la EOQ asociada es de 400 unidades por pedido. En tales circunstancias, el número de pedidos por año sería $(D/Q) = 2.5$ pedidos al año. ¿Cómo puede implementarse esto?

6-10 ¿Cuál es el propósito del análisis de sensibilidad?

6-11 ¿Qué supuestos se adoptan en el modelo de corrida de la producción?

6-12 ¿Qué sucede con el modelo de corrida de la producción cuando la tasa de producción diaria se vuelve muy grande?

6-13 Describa brevemente qué está involucrado en la solución de un modelo de descuentos por cantidad.

6-14 Cuando se utiliza un inventario de seguridad, ¿cómo se calcula la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega si la demanda diaria se distribuye normalmente, pero el tiempo de entrega es constante? ¿Cómo se calcula si la demanda diaria es constante pero el tiempo de entrega se distribuye normalmente? ¿Cómo se calcula si tanto la demanda diaria como el tiempo de entrega se distribuyen normalmente?

6-15 Explique brevemente el enfoque del análisis marginal en problemas con un solo periodo de inventario.

6-16 Describa brevemente qué se entiende por análisis ABC. ¿Cuál es el propósito de esta técnica de inventarios?

6-17 ¿Cuál es el propósito general de la MRP?

6-18 ¿Cuál es la diferencia entre el plan de necesidades brutas de material y el plan de necesidades netas de material?

6-19 ¿Cuál es el objetivo del JIT?

Problemas

• 6-20 Lila Battle ha determinado que la demanda anual de tornillos del número 6 es de 100,000 unidades. Lila, que trabaja en la ferretería de su hermano, está a cargo de las compras. Ella estima que tiene un costo de $10 cada vez que hace un pedido. Este costo incluye sus salarios, el costo de los formatos utilizados en la colocación de pedido, etcétera. Por otro lado, estima que el costo de conservar un tornillo en inventario durante un año es la mitad de 1 centavo. Suponga que la demanda es constante durante todo el año.

(a) ¿Cuántos tornillos del número 6 debería ordenar Lila cada vez si desea minimizar el costo total del inventario?

(b) ¿Cuántos pedidos al año colocaría? ¿Cuál sería el costo anual de pedido?

(c) ¿Cuál sería el inventario promedio? ¿Cuál sería el costo anual de almacenamiento?

• 6-21 Una orden de tornillos del número 6 tarda aproximadamente 8 días hábiles en llegar, una vez que se ha realizado el pedido (consulte el problema 6-20). La demanda de tornillos del número 6 es bastante constante y, en promedio, Lila ha observado que la ferretería de su hermano vende 500 de estos tornillos cada día. Debido a que la demanda tiene estas características, Lila cree que puede evitar desabasto por completo si sólo pide tornillos del número 6 en el momento correcto. ¿Cuál es el ROP?

: 6-22 El hermano de Lila cree que ella realiza demasiados pedidos de tornillos al año, y considera que se debe colocar un pedido sólo dos veces al año. Si Lila sigue la política de su hermano, ¿cuánto más costaría esto cada año que la política de pedidos que desarrolló en el problema 6-20? Si se colocaran sólo dos pedido cada año, ¿qué efecto tendría esto en el ROP?

: 6-23 Barbara Bright es la agente de compras de la compañía West Valve, la cual vende válvulas industriales y dispositivos de control de fluidos. Una de las válvulas más populares es la Western, que tiene una demanda anual de 4,000 unidades. El costo de cada válvula es $90, y se estima que el costo de conservarla en inventario es 10% del costo de cada válvula. Barbara ha hecho un estudio de los costos involucrados en la colocación de un pedido de cualquiera de las válvulas que almacena West Valve, y ha llegado a la conclusión de que el costo promedio de pedido es de $25 por orden. Además, el proveedor tarda alrededor de dos semanas en entregar un pedido y, durante ese tiempo, la demanda por semana de válvulas West es de aproximadamente 80.

(a) ¿Cuál es la EOQ?

(b) ¿Cuál es el ROP?

(c) ¿El ROP es mayor que la EOQ? Si es así, ¿cómo se maneja esta situación?

(d) ¿Cuál es el inventario promedio? ¿Cuál es el costo anual de almacenamiento?

(e) ¿Cuántos pedidos al año se colocarían? ¿Cuál es el costo anual de pedido?

• 6-24 Ken Ramsing ha estado en el negocio de la madera durante la mayor parte de su vida. El mayor competidor de Ken es Pacific Woods. A través de muchos años de experiencia, Ken sabe que el costo de pedido de una orden de madera contrachapada es de $25 y que el costo de almacenamiento es 25% del costo unitario. Tanto Ken como Pacific Woods reciben cargas de madera contrachapada que cuestan $100 por carga. Por otro lado, Ken y Pacific Woods utilizan el mismo proveedor de madera contrachapada, y Ken pudo averiguar que los pedidos de Pacific Woods son de 4,000 cargas a la vez. Ken también sabe que la EOQ para Pacific Woods es de 4,000 cargas. ¿Cuál es la demanda anual en cargas de madera contrachapada de Pacific Woods.

• 6-25 Shoe Shine es una tienda local de zapatos al menudeo ubicada en la parte norte de Centerville. La demanda anual de una sandalia popular es de 500 pares y John Dirk, el dueño del Shoe Shine, ha tenido la costumbre de ordenar 100 pares a la vez. John estima que el costo de pedido es

Nota: significa que el problema puede resolverse con QM para Windows; significa que el problema puede resolverse con Excel QM, y significa que el problema puede resolverse con QM para Windows y/o Excel QM.

de $10 por orden. El costo de las sandalias es de $5 por par. Para que la política de pedidos de John fuera correcta, ¿cuál tendría que ser el costo de almacenamiento como porcentaje del costo unitario? Si el costo de almacenamiento fuera 10% del costo, ¿cuál sería la cantidad óptima de pedido?

6-26 En el problema 6-20, usted ayudó a Lila Battle a determinar la cantidad de pedido óptima para los tornillos del número 6. Ella había estimado que el costo de pedido era de $10 por orden. No obstante, en este momento cree que esta estimación era demasiado baja. Aunque no conoce el costo exacto de pedido, cree que podría llegar a ser hasta de $40 por orden. ¿Cómo cambiaría la cantidad de pedido óptima, si el costo de pedido fuera de $20, $30 y $40?

6-27 El taller de maquinado de Ross White utiliza 2,500 soportes durante el transcurso de un año, y este uso es relativamente constante. Los soportes son comprados a un proveedor ubicado a 100 millas por $15 la pieza, y el tiempo de entrega es de 2 días. El costo de almacenamiento por soporte por año es de $1.50 (o 10% del costo unitario) y el costo de pedido por pedido es de $18.75. Se tienen 250 días de trabajo al año.

(a) ¿Cuál es la EOQ?
(b) Dada la EOQ, ¿cuál es el inventario promedio? ¿Cuál es el costo anual por mantener inventarios?
(c) Para minimizar los costos, ¿cuántos pedidos se harían cada año? ¿Cuál sería el costo anual de pedido?
(d) Dada la EOQ, ¿cuál es el costo anual total de inventario (incluyendo el costo de compra)?
(e) ¿Cuál es el tiempo entre pedidos?
(f) ¿Cuál es el ROP?

6-28 Ross White (vea el problema 6-27) quiere reconsiderar su decisión de comprar los soportes y está pensando en fabricar los soportes él mismo. Ha determinado que los costos de instalación serían de $25 por el tiempo del maquinista y el tiempo de producción perdido, y podría producir 50 soportes al día después de haber configurado la máquina. Ross estima que el costo (incluyendo el tiempo de mano de obra y los materiales) de producir un soporte sería $14.80. El costo de almacenamiento sería el 10% de este costo.

(a) ¿Cuál es la tasa de demanda diaria?
(b) ¿Cuál es la cantidad óptima de producción?
(c) ¿Cuánto tiempo se necesita para producir la cantidad óptima? ¿Cuánto inventario se vendería durante este tiempo?
(d) Si Ross utiliza la cantidad óptima de producción, ¿cuál sería el nivel máximo de inventario? ¿Cuál sería el nivel de inventario promedio? ¿Cuál sería el costo anual de almacenamiento?
(e) ¿Cuántas corridas de la producción habría cada año? ¿Cuál sería el costo anual de instalación?
(f) Considerando una corrida de la producción de tamaño óptimo, ¿cuál sería el costo total anual del inventario?
(g) Si el tiempo de entrega fuera de solo medio día, ¿cuál sería el ROP?

6-29 Al enterarse de que Ross White (vea los problemas 6-27 y 6-28) está considerando producir él mismo los soportes, el proveedor ha notificado a Ross que reduciría el precio de compra del soporte de $15 a $14.50, si Ross adquiere los soportes en lotes de 1,000. Sin embargo, los tiempos de entrega aumentarían a 3 días para esta cantidad más grande.

(a) ¿Cuál es la suma del costo anual de inventario más el costo anual de compra, si Ross adquiere los soportes en lotes de 1,000 a $14.50 cada uno?
(b) Si Ross compra en lotes de 1,000 soportes, ¿cuál sería el nuevo ROP?
(c) Dadas las opciones de comprar los soportes a $15 cada uno, producirlos en el taller a $14.80 y aprovechar el descuento, ¿cuál es su recomendación para Ross White?

6-30 Tras analizar los costos de las distintas opciones para obtener los soportes, Ross White (consulte los problemas 6-27 a 6-29) reconoce que, aunque sabe que el tiempo de entrega es de 2 días y la demanda promedio diaria es de 10 unidades, dicha demanda durante el tiempo de entrega suele variar. Ross mantiene registros muy cuidadosos y ha determinado que la demanda en el tiempo de entrega se distribuye normalmente con una desviación estándar de 1.5 unidades.

(a) ¿Qué valor Z sería apropiado para un nivel de servicio de 98%?
(b) ¿Qué inventario de seguridad debería mantener Ross si quiere un nivel de servicio de 98%?
(c) ¿Cuál es el ROP ajustado para los soportes?
(d) ¿Cuál es el costo anual de almacenamiento del inventario de seguridad, si el costo de almacenamiento por unidad anual es de $1.50?

6-31 Douglas Boats es un proveedor de equipos de navegación para los estados de Oregon y Washington. Vende 5,000 motores a diesel White Marine WM-4 cada año. Douglas recibe estos motores en contenedores de 100 pies cúbicos, y mantiene su almacén lleno de los motores WM4. El almacén puede contener 5,000 pies cúbicos de suministros de navegación. Douglas estima que el costo de pedido es de $10 por orden, y el costo de almacenamiento se estima en $10 por motor por año. Douglas Boats está considerando la posibilidad de ampliar el almacén de los motores WM-4. ¿Cuánto debería expandirse Douglas Boats, y qué utilidad tendría la empresa por realizar esa expansión? Suponga que la demanda es constante durante todo el año.

6-32 Northern Distributors es una organización mayorista que abastece a tiendas minoristas de productos para el cuidado del jardín y limpieza del hogar. Un edificio se utiliza para almacenar las cortadoras de césped Neverfail. El edificio tiene 25 pies de ancho por 40 pies de profundidad por 8 pies de altura. Anna Oldham, gerente del almacén, estima que alrededor de 60% de éste se puede utilizar para almacenar las cortadoras de césped Neverfail. El 40% restante se utiliza para pasarelas y una pequeña oficina. Cada cortadora de césped Neverfail viene en una caja que mide

5 pies por 4 pies por 2 pies de altura. La demanda anual de estas cortadoras de césped es de 12,000, y el costo de los pedidos realizados por Northern Distributors es de $30 por orden. Se estima que a Northern le cuesta $2 almacenar cada cortadora de césped por un año. La empresa está pensando en aumentar el tamaño del almacén. La empresa sólo puede hacerlo aumentando la profundidad del depósito. En la actualidad, el almacén tiene 40 pies de profundidad. ¿Cuántos pies de profundidad se deberían agregar al almacén para minimizar los costos anuales de inventario? ¿Cuánto tendría que estar dispuesta a pagar la empresa por esta expansión? Recuerde que sólo 60% de la superficie total se puede utilizar para almacenar las cortadoras de césped Neverfail. Suponga que se cumplen todos los supuestos de la EOQ.

6-33 Lisa Surowsky recibió la encomienda de ayudar a determinar la mejor política de pedidos para un nuevo producto. Actualmente, se ha proyectado que la demanda de este producto será cercana a 1,000 unidades anuales. Para tener una noción de los costos de almacenamiento y de pedido, Lisa preparó una serie de costos de inventario promedio. Lisa pensó que estos costos serían adecuados para el nuevo producto. Los resultados se resumen en la siguiente tabla. Estos datos se recopilaron para 10,000 artículos de inventario almacenados durante el año y que fueron ordenados 100 veces durante el año pasado. Ayude a Lisa a determinar la EOQ.

FACTOR DE COSTO	COSTO ($)
Impuestos	2,000
Procesamiento e inspección	1,500
Desarrollo del nuevo producto	2,500
Pago de factura	500
Suministros de pedido	50
Seguro del inventario	600
Publicidad del producto	800
Deterioro	750
Envío de órdenes de compra	800
Consultas de inventario	450
Suministros de almacén	280
Investigación y desarrollo	2,750
Salarios de compras	3,000
Salarios de almacén	2,800
Robo de inventario	800
Suministros de órdenes de compra	500
Obsolescencia del inventario	300

6-34 Jan Gentry es el dueño de una pequeña empresa que produce tijeras eléctricas utilizadas para cortar tela. La demanda anual es de 8,000 tijeras, y Jan produce tijeras por lotes. En promedio, Jan puede producir 150 tijeras al día y, durante el proceso de producción, la demanda de las tijeras ha sido de unas 40 tijeras diarias. El costo por configurar el proceso de producción es de $100, y a Jan le cuesta 30 centavos almacenar unas tijeras durante un año. ¿Cuántas tijeras debería Jan producir en cada lote?

6-35 Jim Overstreet, gerente de control de inventarios de Itex, recibe cojinetes para rueda de Wheel-Rite, un pequeño productor de piezas metálicas. Por desgracia, Wheel-Rite sólo puede producir 500 cojinetes para rueda al día. Itex recibe 10,000 cojinetes de Wheel-Rite al año. Como Itex opera 200 días al año, la demanda diaria promedio de cojinetes para rueda es de 50. El costo de pedido para Itex es de $40 por orden, y el costo de almacenamiento es de 60 centavos por cojinete por año. ¿Cuántos cojinetes debería ordenar Itex a Wheel-Rite a la vez? Wheel-Rite se ha comprometido a enviar el número máximo de cojinetes que produce cada día cuando reciba un pedido de Itex.

6-36 North Manufacturing tiene una demanda de 1,000 bombas cada año. El costo de una bomba es de $50. A North Manufacturing le cuesta $40 hacer un pedido, y el costo de almacenamiento es 25% del costo unitario. Si las bombas se ordenan en cantidades de 200, North Manufacturing puede obtener un descuento de 3% sobre el costo de las bombas. ¿Debería North Manufacturing pedir 200 bombas a la vez y tomar el descuento de 3 por ciento?

6-37 Linda Lechner está a cargo de mantener los suministros hospitalarios en el Hospital General. Durante el año pasado, la demanda media durante el tiempo de entrega del vendaje BX-5 fue de 60. Además, la desviación estándar para el BX-5 fue de 7. A Linda le gustaría mantener un nivel de servicio de 90%. ¿Qué nivel de inventario de seguridad le recomienda usted para el BX-5?

6-38 Linda Lechner acaba de ser severamente reprendida por su política de inventarios. (Vea el problema 6-37). Sue Surrowski, su jefa, cree que el nivel de servicio debe ser de 95 o 98%. Calcule los niveles de inventario de seguridad para los niveles de servicio de 95 y 98%. Linda sabe que el costo de almacenamiento del BX-5 es de 50 centavos por unidad anuales. Calcule el costo de almacenamiento que se asocia con un nivel de servicio de 90, 95 y 98 por ciento.

6-39 Ralph Janaro simplemente no tiene tiempo para analizar todos los artículos en el inventario de su compañía. Como joven administrador, tiene cosas más importantes que hacer. La siguiente es una tabla de seis artículos en inventario, junto con el costo unitario y la demanda en unidades.

(a) Calcule la cantidad total gastada en cada artículo durante el año. ¿Cuál es la inversión total para todos los artículos?

(b) Determine el porcentaje de la inversión total en inventario que se gasta en cada artículo.

CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN	COSTO UNITARIO ($)	DEMANDA EN UNIDADES
XX1	5.84	1,200
B66	5.40	1,110
3CPO	1.12	896
33CP	74.54	1,104
R2D2	2.00	1,110
RMS	2.08	961

(c) Con base en los porcentajes del inciso (b), ¿qué artículo(s) se clasifica(n) en las categorías A, B y C utilizando el análisis ABC?

(d) ¿Qué artículo(s) debería controlar Ralph más cuidadosamente utilizando técnicas cuantitativas?

6-40 Thaarugo, Inc., produce un dispositivo GPS que se está volviendo popular en partes de Escandinavia. Cuando Thaarugo produce uno de estos dispositivos, utiliza una tarjeta de circuitos impresos (PCB) y la llena con varios componentes electrónicos. Thaarugo determina que necesita alrededor de 16,000 de estas PCB cada año. La demanda es relativamente constante durante todo el año y el costo de pedido es aproximadamente de $25 por orden; el costo de almacenamiento es 20% del precio de cada PCB. Dos empresas están compitiendo para convertirse en el proveedor dominante de las PCB, y ambas han ofrecido descuentos, como se muestra en la siguiente tabla. ¿Cuál de los dos proveedores debería seleccionar Thaarugo si desea minimizar el costo total anual de inventario? ¿Cuál sería ese costo?

PROVEEDOR A		PROVEEDOR B	
CANTIDAD	PRECIO	CANTIDAD	PRECIO
1–199	38.40	1–299	39.50
200–499	35.80	300–999	35.40
500 o más	34.70	1,000 o más	34.60

6-41 Dillard Travey recibe 5,000 trípodes anualmente de Quality Suppliers para satisfacer su demanda anual. Dillard opera una tienda fotográfica grande, y los trípodes se utilizan principalmente con cámaras de 35 mm. El costo de pedido es de $15 por orden, y el costo de almacenamiento es de 50 centavos por unidad anual. Quality está ofreciendo una nueva opción a sus clientes. Cuando hagan un pedido, Quality enviará una tercera parte de la orden cada semana durante tres semanas, en lugar de enviar el pedido completo de una sola vez. La demanda semanal en el tiempo de entrega es de 100 trípodes.

(a) ¿Cuál es la cantidad de pedido si Dillard recibe la orden completa de una sola vez?

(b) ¿Cuál es la cantidad del pedido si Dillard recibe la orden en tres semanas, usando la nueva opción de Quality Suppliers Inc.? Para simplificar los cálculos, suponga que el inventario promedio es igual a la mitad del nivel máximo de inventario para la nueva opción de Quality.

(c) Calcule el costo total de cada opción. ¿Qué recomendaría usted?

6-42 Quality Suppliers, Inc., ha decidido ampliar su opción de envío. (Para mayores detalles, consulte el problema 6-41). Ahora, Quality Suppliers está ofreciendo enviar la cantidad ordenada en cinco partes iguales, una cada semana. La orden completa se recibirá durante cinco semanas. ¿Cuáles son la cantidad de pedido y el costo total de esta nueva opción de envío?

6-43 Hardware Warehouse está evaluando la política de inventario de seguridad para todos sus artículos, que se identifican mediante códigos SKU. Para el SKU M4389, la empresa siempre ordena 80 unidades cada vez que hace un pedido. La demanda diaria es constante, de 5 unidades por día; el tiempo de entrega se distribuye normalmente, con una media de 3 días y una desviación estándar de 2. El costo de almacenamiento es de $3 por unidad anual. Es necesario mantener un nivel de servicio de 95 por ciento.

(a) ¿Cuál es la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega?

(b) ¿Cuánto inventario de seguridad debería conservarse y cuál debería ser el punto de reorden?

(c) ¿Cuál es el costo total anual de almacenamiento?

6-44 Para el SKU A3510 en Hardware Warehouse, la cantidad de pedido se ha fijado en 150 unidades cada vez que se coloca una orden. La demanda diaria se distribuye normalmente, con una media de 12 unidades y una desviación estándar de 4. Este artículo siempre llega exactamente 5 días después de haber sido pedido. Se ha determinado que el costo de almacenamiento es de $10 por unidad anual. Debido al gran volumen de ventas de este artículo, la gerencia quiere mantener un nivel de servicio de 99 por ciento.

(a) ¿Cuál es la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega?

(b) ¿Cuánto inventario de seguridad se debería mantener, y cuál debería ser el punto de reorden?

(c) ¿Cuál es el costo total anual de almacenamiento?

6-45 H & K Electronics Warehouse vende un paquete de 12 baterías AAA, que es un artículo muy popular. La demanda del paquete se distribuye normalmente, con un promedio de 50 paquetes por día y una desviación estándar de 16. El tiempo de entrega promedio es de 5 días, con una desviación estándar de 2 días. Se ha encontrado que el tiempo de entrega se distribuye normalmente y se desea un nivel de servicio de 96 por ciento.

(a) ¿Cuál es la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega?

(b) ¿Cuánto inventario de seguridad se debería mantener, y cuál debería ser el punto de reorden?

6-46 Xemex ha recopilado los siguientes datos de inventario para los seis artículos que almacena:

CÓDIGO DEL ARTÍCULO	COSTO UNITARIO ($)	DEMANDA ANUAL (UNIDADES)	COSTO DE PEDIDO ($)	COSTO DE ALMACENAMIENTO COMO PORCENTAJE DEL COSTO UNITARIO
1	10.60	600	40	20
2	11.00	450	30	25
3	2.25	500	50	15
4	150.00	560	40	15
5	4.00	540	35	16
6	4.10	490	40	17

Lynn Robinson, la gerente de inventarios en Xemex, no siente que todos los artículos se puedan controlar. ¿Qué cantidades de pedido recomienda usted para cuál(es) producto(s) de inventario?

6-47 Georgia Products ofrece el siguiente programa de descuentos para sus hojas de madera contrachapada de buena calidad de 4 por 8 pies:

PEDIDO	COSTO UNITARIO ($)
9 hojas o menos	18.00
De 10 a 50 hojas	17.50
Más de 50 hojas	17.25

La Home Sweet Home Company le ordena madera contrachapada a Georgia Products. Home Sweet Home tiene un costo de pedido de $45. El costo de almacenamiento es de 20%, y la demanda anual es de 100 hojas. ¿Qué recomienda usted?

6-48 Sunbright Citrus Products elabora jugo de naranja, jugo de toronja y otros artículos relacionados con los cítricos. Sunbright obtiene concentrado de frutas de una cooperativa en Orlando integrada por aproximadamente 50 productores de cítricos. La cooperativa vende un mínimo de 100 latas de concentrado de frutas a los procesadores de cítricos como Sunbright. El costo por lata es $9.90.

El año pasado, la cooperativa desarrolló el Programa de Incentivos por Bonos para motivar a sus clientes grandes a comprar en cantidad. Funciona de la siguiente manera: si se compran 200 latas de concentrado, el trato incluye 10 latas de concentrado gratis. Además, los nombres de las empresas que compran el concentrado se inscriben a un sorteo de una computadora personal nueva. La computadora tiene un valor de alrededor de $3,000, y actualmente cerca de 1,000 empresas pueden participar en el sorteo. Con una compra de 300 latas, la cooperativa regalará 30 latas y también inscribirá a la empresa compradora en el sorteo de la computadora. Cuando la cantidad sube a 400 latas de concentrado, se regalan 40 latas de concentrado con el pedido. Además, la empresa compradora también entra al sorteo de la computadora y de un viaje gratis para dos personas. El valor aproximado del viaje es de $5,000. Se espera que cerca de 800 empresas entren al sorteo de este viaje.

Sunbright estima que su demanda anual de concentrado de frutas es de 1,000 latas. Además, el costo de pedido se estima en $10, y el costo de almacenamiento en 10%, o aproximadamente $1 por unidad. La compañía está intrigada con el plan de bonos por incentivos. Si la empresa decide que conservaría las latas gratis, el viaje o la computadora si los gana, ¿qué debería hacer?

6-49 John Lindsay vende discos compactos con 25 paquetes de software que realizan una variedad de funciones financieras, incluyendo el valor actual neto, la tasa interna de rendimiento y otros programas financieros normalmente utilizados por los estudiantes de negocios con especialización en finanzas. Dependiendo de la cantidad pedida, John ofrece los siguientes descuentos en los precios. La demanda anual es de 2,000 unidades en promedio. Su costo de instalación para producir los CD es de $250. Estima que los costos de almacenamiento son de 10% del precio, o alrededor de $1 por unidad anual.

RANGOS DE PRECIOS	CANTIDAD PEDIDA DE	A	PRECIO
	1	500	$10.00
	501	1,000	9.95
	1,001	1,500	9.90
	1,500	2,000	9.85

(a) ¿Cuál es el número óptimo de CD a producir cada vez?
(b) ¿Cuál es el impacto del siguiente programa de cantidad-precio sobre la cantidad óptima de pedido?

RANGOS DE PRECIOS	CANTIDAD PEDIDA DE	A	PRECIO
	1	500	$10.00
	501	1,000	9.99
	1,001	1,500	9.98
	1,500	2,000	9.97

6-50 Teresa Granger es la gerente de Chicago Cheese, que produce queso para untar y otros productos lácteos. El queso para untar E-Z es un producto que siempre ha sido popular. Su probabilidad de ventas, en cajas, es la siguiente:

DEMANDA (CAJAS)	PROBABILIDAD
10	0.2
11	0.3
12	0.2
13	0.2
14	0.1

Una caja de queso para untar E-Z se vende a $100 y tiene un costo de $75. Cualquier queso que no se vende al final de la semana es vendido a un procesador de alimentos local por $50. Teresa nunca vende queso con antigüedad mayor a una semana. Use el análisis marginal para determinar el número de cajas de queso E-Z que debe producirse cada semana para maximizar la utilidad promedio.

6-51 Harry's Hardware hace un buen negocio durante el año. En la época navideña, Harry's Hardware vende árboles de Navidad con una utilidad sustancial. Por desgracia, los árboles no vendidos al final de la temporada son totalmente inútiles. Por lo tanto, el número de árboles que se almacena para una estación dada es una decisión muy importante. La siguiente tabla muestra la demanda de árboles de Navidad:

DEMANDA DE ÁRBOLES DE NAVIDAD	PROBABILIDAD
50	0.05
75	0.1
100	0.2
125	0.3
150	0.2
175	0.1
200	0.05

Harry vende los árboles a $80 cada uno, pero su costo es de sólo $20.

(a) Use el análisis marginal para determinar cuántos árboles debería almacenar Harry.
(b) Si el costo se incrementa a $35 por árbol y Harry sigue vendiendo los árboles a $80 cada uno, ¿cuántos árboles debe almacenar Harry?
(c) Harry está pensando en aumentar el precio a $100 por árbol. Suponga que el costo por árbol es de $20. Con el nuevo precio, se espera que la probabilidad de vender 50, 75, 100 o 125 árboles sea de 0.25 para cada nivel de ventas. Harry no espera vender más de 125 árboles con este aumento de precio. ¿Qué le recomienda usted?

6-52 Además de vender árboles de Navidad durante la temporada de fin de año, Harry's Hardware vende todos los artículos ordinarios de ferretería (vea el problema 6-51). Uno de los artículos más populares es el pegamento fuerte HH, un artículo que se fabrica sólo para Harry's Hardware. El precio de venta es de $4 por botella, pero por desgracia, el pegamento se endurece y queda inutilizable después de un mes. El costo del pegamento es de $1.20. Durante los últimos meses, las ventas medias del pegamento han sido de 60 unidades, y la desviación estándar es de 7. ¿Cuántas botellas de pegamento debería almacenar Harry's Hardware? Suponga que las ventas siguen una distribución normal.

6-53 La pérdida marginal en Washington Reds, una marca de manzanas del estado de Washington, es de $35 por caja. La utilidad marginal es de $15 por caja. Durante el año pasado, las ventas medias de Washington Reds fueron de 45,000 cajas, y la desviación estándar fue de 4,450. ¿Cuántas cajas de Washington Reds deberían llevarse al mercado? Suponga que las ventas siguen una distribución normal.

6-54 Linda Stanyon ha sido la gerente de producción de Plano Produce durante más de ocho años. Plano Produce es una pequeña empresa ubicada cerca de Plano, Illinois. Uno de sus productos, el tomate, se vende en cajas, con ventas diarias promedio de 400 cajas. Se supone que las ventas diarias se distribuyen normalmente. Además, 85% de las veces las ventas están entre 350 y 450 cajas. Cada caja cuesta $10 y se vende por $15. Todas las cajas que no se venden deben desecharse.

(a) Con base en la información proporcionada, estime la desviación estándar de las ventas.
(b) Use la desviación estándar del inciso (a) para determinar el número de cajas de tomates que Linda debería almacenar.

6-55 Paula Shoemaker produce un informe semanal del mercado de valores para un público exclusivo. Normalmente vende 3,000 informes por semana, y 70% de las veces sus ventas van de 2,900 a 3,100. La producción de cada informe cuesta a Paula $15, pero puede venderlos a $350 cada uno. Desde luego, cualquier informe que no vende al final de la semana no tiene ningún valor. ¿Cuántos informes debe producir Paula cada semana?

6-56 Emarpy Appliance produce todo tipo de electrodomésticos. Richard Feehan, el presidente de Emarpy, está preocupado por la política de producción del refrigerador con mejores ventas de la compañía. La demanda de éste se ha mantenido relativamente constante en alrededor de 8,000 unidades al año. La capacidad de producción de este producto es de 200 unidades por día. Cada vez que inicia la producción, la compañía gasta $120 en mover los materiales hasta su lugar, restablecer la línea de montaje y limpiar el equipo. El costo de almacenamiento de un refrigerador es de $50 al año. El plan de producción actual exige la producción de 400 refrigeradores en cada corrida de la producción. Suponga que hay 250 días de trabajo al año.

(a) ¿Cuál es la demanda diaria de este producto?
(b) Si la empresa tuviera que seguir produciendo 400 unidades cada vez que inicia la producción, ¿cuántos días continuaría la producción?
(c) De acuerdo con la política actual, ¿cuántas corridas de la producción serían necesarias al año? ¿Cuál sería el costo anual de instalación?
(d) Si la política actual continúa, ¿cuántos refrigeradores estarían en inventario cuando se detuviera la producción? ¿Cuál sería el nivel promedio del inventario?
(e) Si la compañía produce 400 refrigeradores a la vez, ¿cuál sería el costo anual total de instalación y de almacenamiento?

6-57 Considere la situación de Emarpy Appliance en el problema 6-56. Si Richard Feehan quiere minimizar el costo total anual de inventario, ¿cuántos refrigeradores deberían producirse en cada corrida de la producción? ¿Cuánto ahorraría la compañía en costos de inventario comparados con la política actual de producir 400 en cada corrida de la producción?

6-58 En este capítulo se presenta un árbol de estructura de materiales para el artículo A de la figura 6.12. Suponga que ahora se requiere 1 unidad del artículo B para cada unidad del artículo A. ¿Qué impacto tiene esto en el árbol de estructura materiales y en el número de artículos D y E que se requieren?

6-59 Dada la información del problema 6-58, desarrolle un plan de necesidades brutas de material para 50 unidades del artículo A.

6-60 Utilice los datos de las figuras 6.12 a 6.14 para desarrollar un plan de necesidades netas de material para 50 unidades del artículo A, suponiendo que sólo se requiere 1 unidad del artículo B por cada unidad de artículo A.

6-61 La demanda del producto S es de 100 unidades. Cada unidad de S requiere 1 unidad de T y 0.5 onzas de U. Cada unidad de T requiere 1 unidad de V, 2 unidades de W y 1 unidad de X. Finalmente, cada unidad de U requiere 0.5 onzas de Y y 3 unidades de Z. Todos los artículos son fabricados por la misma empresa. Se necesitan dos semanas para hacer S, una semana para hacer T, dos semanas para hacer U, dos semanas para hacer V, tres semanas para hacer W, una semana para hacer X, dos semanas para hacer Y y una semana para hacer Z.

(a) Construya un árbol de estructura de materiales y un plan de necesidades brutas de material para los artículos dependientes del inventario.

(b) Identifique todos los niveles, padres y componentes.

(c) Construya un plan de necesidades netas de material utilizando los siguientes datos del inventario disponible:

ARTÍCULO	S	T	U	V	W	X	Y	Z
Inventario disponible	20	20	10	30	30	25	15	10

6-62 La compañía Webster Manufacturing produce un tipo popular de carrito servicio. Este producto, el SL72, se fabrica con las siguientes piezas: 1 unidad de la pieza A, 1 unidad de la pieza B y 1 unidad del subensamble C. Cada subensamble C se compone de 2 unidades de la pieza D, 4 unidades de la pieza E y 2 unidades de la pieza F. Elabore un árbol de estructura de materiales para esto.

6-63 Blair H. Dodds, III, dirige un negocio en casa por eBay; éste es de tamaño mediano y vende fotografías antiguas. La demanda anual de sus fotos es de aproximadamente 50,000. El costo general anual (sin incluir el precio de compra) por las fotografías es de $4,000 al año. Si se considera que este costo representa el costo anual de pedido óptimo y que la cantidad óptima de pedido es de 400 fotografías a la vez, determine el costo de pedido y el nivel promedio del inventario.

6-64 El tiempo de entrega para cada una de las piezas del SL72 (problema 6-62) es de una semana, con excepción de la pieza B, que tiene un tiempo de entrega de dos semanas. Desarrolle un plan de necesidades netas de material para un pedido de 800 SL72s. Suponga que actualmente no hay piezas en inventario.

6-65 Consulte el problema 6-64. Desarrolle un plan de necesidades netas de material suponiendo que en la actualidad se dispone de 150 unidades de la pieza A, 40 unidades de la pieza B, 50 unidades del subensamble C y 100 unidades de la pieza F en inventario.

Estudio de caso

Martin-Pullin Bicycle Corporation

Martin-Pullin Bicycle Corporation (MPBC), que se encuentra en Dallas, es un distribuidor mayorista de bicicletas y piezas de bicicleta. Formada en 1981 por los primos Ray Martin y Jim Pullin, los puntos de venta principales de la empresa se encuentran dentro de un radio de 400 millas desde el centro de distribución. Estos puntos de venta reciben los pedidos enviados por Martin-Pullin en un plazo de dos días después de notificar al centro de distribución, siempre que haya inventario disponible. Sin embargo, si la empresa no cumple con algún pedido, no se coloca una orden de respaldo; los minoristas se las arreglan para conseguir el pedido con otro distribuidor y MPBC pierde ese negocio.

Demandas del modelo AirWing

MES	2009	2010	PRONÓSTICO PARA 2011
Enero	6	7	8
Febrero	12	14	15
Marzo	24	27	31
Abril	46	53	59
Mayo	75	86	97
Junio	47	54	60
Julio	30	34	39
Agosto	18	21	24
Septiembre	13	15	16
Octubre	12	13	15
Noviembre	22	25	28
Diciembre	38	42	47
Total	343	391	439

La compañía distribuye una amplia variedad de bicicletas. El modelo más popular, y la principal fuente de ingresos para la empresa, es el AirWing. MPBC recibe todos los modelos de un solo fabricante extranjero, y el envío tarda hasta cuatro semanas desde el momento en que se hace un pedido. Con el costo de la comunicación, el papeleo y el despacho de aduanas incluido, MPBC estima que cada vez que hace un pedido, incurre en un costo de $65. El precio de compra pagado por bicicleta, es aproximadamente 60% del precio de venta sugerido para todos los estilos disponibles, y el costo por almacenar inventario es de 1% mensual (12% anual) del precio de compra pagado por MPBC. El precio de venta (pagado por los clientes) del AirWing es de $170 por bicicleta.

MPBC está interesada en hacer un plan de inventarios para el año 2011. La empresa quiere mantener un nivel de servicio de 95% para sus clientes, con la finalidad de minimizar las pérdidas por pedidos perdidos. Los datos recogidos durante los últimos dos años se resumen en la siguiente tabla. Se ha desarrollado un pronóstico de ventas para el modelo Airwing en el próximo año 2011 y se utiliza para hacer un plan de inventarios de MPBC.

Preguntas para análisis

1. Desarrolle un plan de inventarios para ayudar a MPBC.
2. Analice los ROP y los costos totales.
3. ¿Cómo se puede hacer frente a la demanda que no está al nivel del horizonte de planeación?

Fuente: Profesora Kala Chand Seal, Loyola Marymount University.

Estudios de caso en Internet

Visite nuestra página en Internet, **www.pearsonenespañol.com/render**, y consulte estos estudios de caso adicionales:

(1) **LaPlace Power and Light:** Este caso involucra un servicio público en Luisiana y su uso de cables eléctricos para conectar las casas a las líneas eléctricas.

(2) **Western Ranchman Outfitters:** Este caso involucra la gestión de inventarios para un estilo popular de pantalones vaqueros cuando la fecha de entrega es a veces impredecible.

(3) **Professional Video Management:** Este caso se refiere a un sistema de videos en el que es posible acceder a descuentos de los proveedores.

(4) **Drake Radio:** Este caso implica pedidos de sintonizadores de FM.

Bibliografía

Anderson, Eric T., Gavan J. Fitzsimons y Duncan Simester. "Measuring and Mitigating the Costs of Stockouts", *Management Science* 52, 11 (noviembre de 2006): 1751-1763.

Bradley, James R. y Richard W. Conway. "Managing Cyclic Inventories", *Production and Operations Management* 12, 4 (invierno de 2003): 464-479.

Chan, Lap Mui Ann, David Simchi-Levi y Julie Swann. "Pricing, Production, and Inventory Policies for Manufacturing with Stochastic Demand and Discretionary Sales", *Manufacturing & Service Operations Management* 8, 2 (primavera de 2006): 149-168.

Chickering, David Maxwell y David Heckerman. "Targeted Advertising on the Web with Inventory Management", *Interfaces* 33, 5 (septiembre-octubre de 2003): 71-77.

Chopra, Sunil, Gilles Reinhardt y Maqbool Dada. "The Effect of Lead Time Uncertainty on Safety Stocks", *Decision Sciences* 35, 1 (invierno de 2004): 1-24.

Desai, Preyas S. y Oded Koenigsberg. "The Role of Production Lead Time and Demand Uncertainty in Marketing Durable Goods", *Management Science* 53, 1 (enero de 2007): 150-158.

Jayaraman, Vaidyanathan, Cindy Burnett y Derek Frank. "Separating Inventory Flows in the Materials Management Department of Hancock Medical Center", *Interfaces* 30, 4 (julio-agosto de 2000): 56-64.

Kapuscinski, Roman, Rachel Q. Zhang, Paul Carbonneau, Robert Moore y Bill Reeves. "Inventory Decisions in Dell's Supply Chain", *Interfaces* 34, 3 (mayo-junio de 2004): 191-205.

Karabakal, Nejat, Ali Gunal y Warren Witchie. "Supply-Chain Analysis at Volkswagen of America", *Interfaces* 30, 4 (julio-agosto de 2000): 46-55.

Kök, A. Gürhan y Kevin H. Shang. "Inspection and Replenishment Policies for Systems with Inventory Record Inaccuracy", *Manufacturing & Service Operations Management* 9, 2 (primavera de 2007): 185-205.

Ramasesh, Ranga V. y Ram Rachmadugu. "Lot-Sizing Decision Under Limited-Time Price Reduction", *Decision Sciences* 32, 1 (invierno de 2001): 125-143.

Ramdas, Kamalini y Robert E. Spekman. "Chain or Shackles: Understanding What Drives Supply-Chain Performance", *Interfaces* 30, 4 (julio-agosto de 2000): 3-21.

Rubin, Paul A. y W. C. Benton. "A Generalized Framework for Quantity Discount Pricing Schedules", *Decision Sciences* 34, 1 (invierno de 2003): 173-188.

Shin, Hojung y W. C. Benton. "Quantity Discount-Based Inventory Coordination: Effectiveness and Critical Environmental Factors", *Production and Operations Management* 13, 1 (primavera de 2004): 63-76.

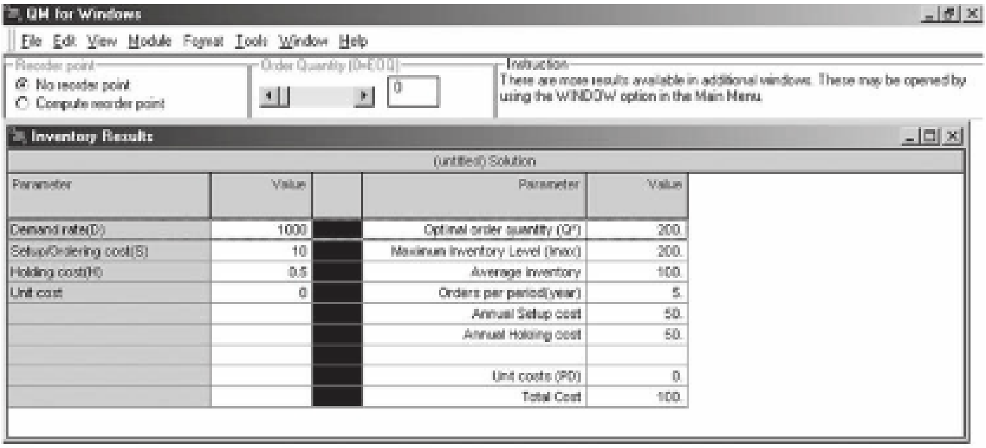
Apéndice 6.1: Control de inventarios con QM para Windows

En este capítulo se presenta una variedad de modelos de control de inventarios. Cada modelo tiene diferentes supuestos y utiliza enfoques ligeramente diferentes. El uso de QM para Windows es similar para los diferentes tipos de problemas de inventario. Como se observa en el menú de inventarios en QM para Windows, la mayoría de los problemas de inventario estudiados en este capítulo se pueden resolver por computadora.

Para hacer una demostración de QM para Windows, comenzamos con el modelo básico de la EOQ. Sumco, una empresa de manufactura analizada en el capítulo, tiene una demanda anual de 1,000 unidades, con un costo de pedido de $10 por unidad y un costo de almacenamiento de $0.50 por unidad anual. Con estos datos, podemos utilizar QM para Windows para determinar la cantidad económica de pedido. Los resultados se muestran en el programa 6.5.

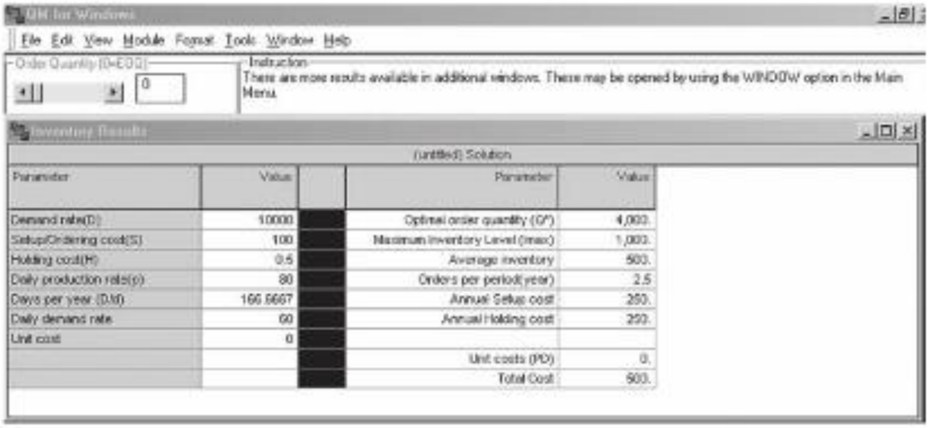
En este capítulo también se cubre el problema de inventario de corrida de la producción, que requiere la producción diaria y la tasa de demanda diaria, además de la demanda anual, el costo de pedido por orden y el costo de almacenamiento por unidad anual. El ejemplo de Brown Manufacturing se utiliza en este capítulo para mostrar cómo hacer los cálculos de forma manual. Estos datos también pueden usarse con QM para Windows. El programa 6.6 muestra los resultados.

PROGRAMA 6.5
Resultados en QM para Windows para el modelo de la EOQ



Parameter	Value	Parameter	Value
Demand rate(D)	1000	Optimal order quantity (Q*)	200.
Setup/Ordering cost(S)	10	Maximum Inventory Level (Imax)	200.
Holding cost(H)	0.5	Average inventory	100.
Unit cost	0	Orders per period(year)	5.
		Annual Setup cost	50.
		Annual Holding cost	50.
		Unit costs (PD)	0.
		Total Cost	100.

PROGRAMA 6.6
Resultados en QM para Windows para el modelo de corrida de la producción



Parameter	Value	Parameter	Value
Demand rate(D)	10000	Optimal order quantity (Q*)	4,000.
Setup/Ordering cost(S)	100	Maximum Inventory Level (Imax)	1,000.
Holding cost(H)	0.5	Average inventory	500.
Daily production rate(p)	80	Orders per period(year)	2.5
Days per year (D/d)	166.6667	Annual Setup cost	250.
Daily demand rate	60	Annual Holding cost	250.
Unit cost	0		
		Unit costs (PD)	0.
		Total Cost	500.

El modelo de descuentos por cantidad permite que el costo de material varíe con la cantidad pedida. En este caso, el modelo debe considerar y minimizar los costos de materiales, de pedido y de almacenamiento examinando cada precio de descuento. El programa 6.7 muestra cómo se puede utilizar QM para Windows para resolver el modelo con descuentos por cantidad analizado en el capítulo. Observe que la salida del programa muestra los datos de entrada, además de los resultados.

PROGRAMA 6.7
Resultados en QM para Windows para el modelo de descuentos por cantidad

QM for Windows

File Edit View Module Format Tools Window Help

Instruction
There are more results available in additional windows. These may be opened by using the WINDOW option in the Main Menu.

Inventory Results

(untitled) Solution

Parameter	Value				Parameter	Value
Demand rate(D)	5000	xxxxxxx	xxxxxxx		Optimal order quantity (Q*)	1,000.
Setup/Ordering cost(S)	49	xxxxxxx	xxxxxxx		Maximum Inventory Level	1,000.
Holding cost(H)@20%		xxxxxxx	xxxxxxx		Average inventory	500.
					Orders per period(year)	5.
	From	To	Price		Annual Setup cost	245.
1	1	999.	5.		Annual Holding cost	480.
2	1000	1,999.	4.8			
3	2000	999,999.	4.75		Unit costs (PD)	24,000.
					Total Cost	24,725.

Cuando una organización tiene un gran número de artículos de inventario, con frecuencia se utiliza el análisis ABC. Como se estudia en este capítulo, el volumen total monetario de un artículo en inventario es una manera de determinar si se deben utilizar técnicas de control cuantitativo. Los cálculos necesarios se realizan en el programa 6.8, donde se muestra cómo puede usarse QM para Windows para calcular el volumen monetario y determinar si las técnicas de control cuantitativo se justifican para cada artículo en inventario con este nuevo ejemplo.

PROGRAMA 6.8
Resultados en QM para Windows para el análisis ABC

QM for Windows - C:\My Documents\Mike\RBS\Weiss\Render.Stair.7\QM for Windows files\abc1.inv

File Edit View Module Format Tools Window Help

Percent of items that are A items: 15

Percent of items that are B items: 30

Instruction
Click on Edit to return to data.

Inventory Results

(untitled) Solution

Item name	Demand	Price	Dollar Volume	Percent of $-Vol	Cumultv $-vol %	Category
Item 1	7,000.	10.	70,000.	56.59	56.59	A
Item 2	2,000.	10.	20,000.	16.17	72.76	B
Item 3	1,000.	10.	10,000.	8.08	80.84	B
Item 4	2,000.	5.	10,000.	8.08	88.92	C
Item 5	2,500.	3.	7,500.	6.06	94.99	C
Item 6	800.	4.	3,200.	2.59	97.57	C
Item 7	600.	5.	3,000.	2.43	100.	C
TOTAL	15,900.		123,700.			

CAPÍTULO 7

Modelos de programación lineal: métodos gráficos y computacionales

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de estudiar este capítulo, el alumno será capaz de:

1. Comprender los supuestos y las propiedades básicas de la programación lineal (PL).
2. Resolver en forma gráfica cualquier problema de PL que sólo tenga dos variables, usando los métodos de los vértices y de la recta de isoutilidad.
3. Entender aspectos especiales de la PL como región no factible, solución no acotada, redundancia y soluciones óptimas múltiples.
4. Comprender el papel del análisis de sensibilidad.
5. Usar hojas de cálculo en Excel para resolver problemas de PL.

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

7.1 Introducción
7.2 Requisitos de un problema de programación lineal
7.3 Formulación de problemas de PL
7.4 Solución gráfica a un problema de PL
7.5 Resolución del problema de PL de Flair Furniture usando QM para Windows, Excel 2013 y Excel QM
7.6 Resolución de problemas de minimización
7.7 Cuatro casos especiales de PL
7.8 Análisis de sensibilidad

Resumen • Glosario • Problemas resueltos • Autoevaluación • Preguntas para análisis y problemas • Estudio de caso: Trabajo en Mexicana Wire • Estudio de caso en Internet • Bibliografía

Resumen

En este capítulo presentamos una técnica de modelado matemático llamada programación lineal (PL). Se utiliza para llegar a una solución óptima para problemas que tienen una serie de restricciones vinculadas al objetivo. Utilizamos los métodos de los vértices y de isoutilidad/isocosto para la resolución de problemas en forma gráfica con sólo dos variables de decisión.

Los enfoques de solución gráfica presentados en este capítulo proporcionan una base conceptual para abordar problemas más grandes y complejos, como los que se analizan en el capítulo 8. Para resolver problemas de PL en la vida real con numerosas variables y restricciones, es necesario un procedimiento de solución como el algoritmo símplex, que es el tema del módulo 7. El algoritmo símplex es el método que utilizan QM para Windows y Excel para hacer frente a los problemas de PL.

En este capítulo, también presentamos el importante concepto del análisis de sensibilidad. En ocasiones conocido como análisis de postoptimalidad, el análisis de sensibilidad es usado por la gerencia para responder a una serie de preguntas del tipo "¿qué pasaría si?" acerca de los parámetros del modelo de PL. También prueba qué tan sensible es la solución óptima ante los cambios en los coeficientes de utilidad o costo, los coeficientes tecnológicos y los recursos del lado derecho. Exploramos el análisis de sensibilidad de forma gráfica (es decir, para problemas con sólo dos variables de decisión) y con la salida de la computadora, pero para entender cómo se analiza la sensibilidad de manera algebraica a través del algoritmo símplex, consulte el módulo 7 (que se encuentra en **www.pearsonenespañol.com/render**).

Glosario

Análisis de sensibilidad El estudio de qué tan sensible es una solución óptima ante los cambios en los supuestos del modelo y los datos. Con frecuencia se denomina análisis de postoptimalidad.

Coeficientes tecnológicos Coeficientes de las variables en las ecuaciones de restricción. Los coeficientes representan la cantidad de recursos necesarios para producir una unidad de la variable.

Desigualdad Una expresión matemática que contiene una relación mayor o igual que (≥) o menor o igual que (≤), utilizada para indicar que el consumo total de un recurso debe ser ≥ o ≤ que algún valor límite.

Excedente La diferencia entre el lado izquierdo y el lado derecho de una restricción del tipo mayor o igual que. Con frecuencia, representa la cantidad en la que se supera un tamaño mínimo.

Función objetivo Un enunciado matemático de la meta de una organización, establecido como la intención de maximizar o minimizar alguna cantidad importante, como las utilidades o los costos.

Holgura La diferencia entre el lado izquierdo y el lado derecho de una restricción del tipo menor o igual que. A menudo, es la cantidad de un recurso que no se está utilizando.

Método de ecuaciones simultáneas El método algebraico para encontrar el punto de intersección entre dos o más ecuaciones de restricción lineal.

Método de los vértices El método para encontrar la solución óptima a un problema de PL probando el nivel de la utilidad o de los costos en cada vértice de la región factible. La teoría de la PL afirma que la solución óptima debe estar en uno de los vértices.

Precio (valor) dual La mejora en el valor de la función objetivo que resulta de un aumento de una unidad en el lado derecho de esa restricción.

Precio sombra El aumento en el valor de la función objetivo que resulta de un aumento de una unidad en el lado derecho de esa restricción.

Problema de mezcla de productos Un problema de PL común, que involucra una decisión de los productos que una empresa debería producir, debido a que cuenta con recursos limitados.

Programación lineal (PL) Una técnica matemática que ayuda a la gerencia a decidir cómo debe hacer el uso más eficaz de los recursos de una organización.

Programación matemática La categoría general de las técnicas de modelado y resolución matemática utilizadas para asignar recursos al mismo tiempo que se optimiza un objetivo medible. La PL es un tipo de modelo de programación.

Recta de isocosto Una línea recta que representa todas las combinaciones de X_1 y X_2 para un nivel de costo en particular.

Recta de isoutilidad Una línea recta que representa todas las combinaciones no negativas de X_1 y X_2 para un nivel de utilidad específico.

Redundancia La presencia de una o más restricciones que no afectan la región de soluciones factibles.

Región factible El área que satisface todas las restricciones de recursos del problema; es decir, la región donde se traslapan todas las restricciones. Todas las soluciones posibles al problema pertenecen a la región factible.

Restricción Una limitación sobre los recursos disponibles para una empresa (se indica en la forma de una desigualdad o una ecuación).

Restricción no vinculante Una restricción con una cantidad positiva de holgura o excedente para la solución óptima.

Restricción vinculante Una restricción con cero holgura o excedente para la solución óptima.

Restricciones de no negatividad Un conjunto de restricciones que indican que cada variable de decisión debe ser no negativa; es decir, cada X_i debe ser mayor o igual que 0.

Solución factible Un punto situado en la región factible. Básicamente, es cualquier punto que satisface todas las restricciones del problema.

Solución no acotada Una condición que existe cuando una variable de solución y la utilidad pueden hacerse infinitamente grandes sin transgredir ninguna de las restricciones del problema en un proceso de maximización.

Solución no factible Cualquier punto situado fuera de la región factible. Vulnera una o más de las restricciones establecidas.

Solución óptima múltiple Una situación donde es posible más de una solución óptima. Surge cuando la pendiente de la función objetivo es igual a la pendiente de una restricción.

Variable de decisión Una variable cuyo valor puede ser elegido por la persona que toma decisiones.

Vértice o punto extremo Un punto que se encuentra en una de las esquinas de la región factible. Esto significa que se encuentra en la intersección de dos rectas de restricción.

Problemas resueltos

Problema resuelto 7-1

Personal Mini Warehouses está planeando expandir su exitoso negocio de Orlando a Tampa. Entonces, la empresa debe determinar el número de bodegas de cada tamaño que necesita construir. Su objetivo y sus restricciones son las siguientes:

$$
\begin{aligned}
\text{Maximizar las ganancias mensuales} = \; & 50X_1 + 20X_2 \\
\text{sujetas a} \quad & 20X_1 + 40X_2 \leq 4{,}000 \quad \text{(presupuesto de publicidad disponible)} \\
& 100X_1 + 50X_2 \leq 8{,}000 \quad \text{(pies cuadrados requeridos)} \\
& X_1 \leq 60 \quad \text{(límite de alquiler esperado)} \\
& X_1, X_2 \geq 0
\end{aligned}
$$

donde

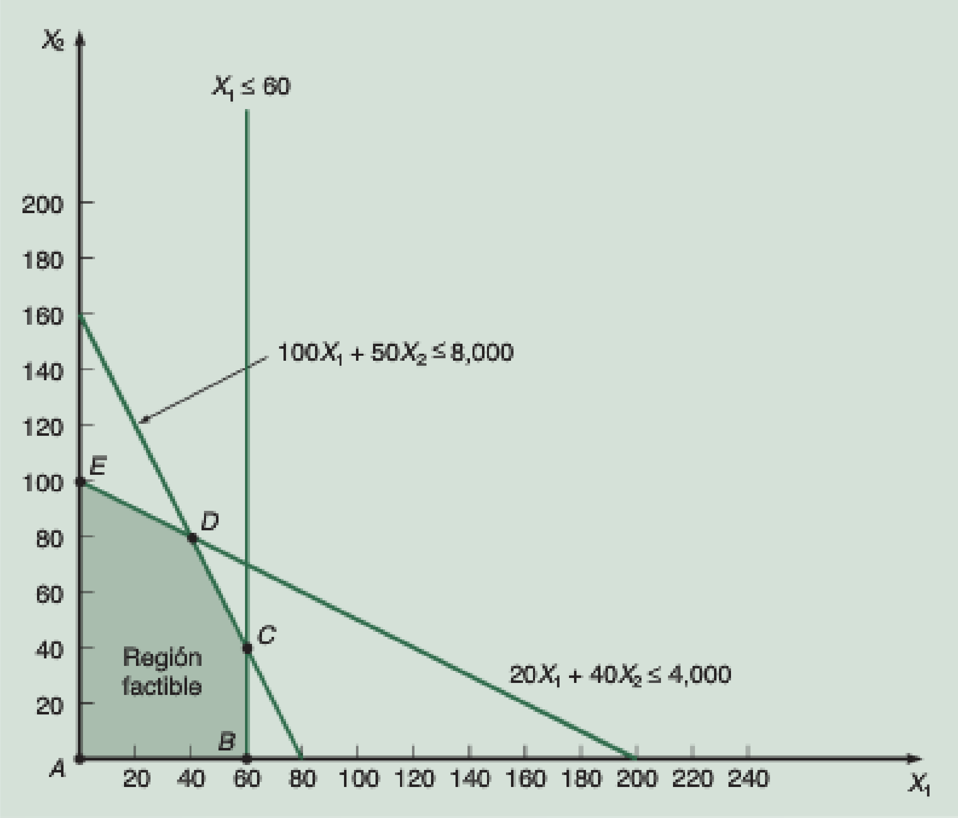
X_1 = número de espacios grandes desarrollados

X_2 = número de espacios pequeños desarrollados

Solución

Una evaluación de los cinco vértices de la gráfica mostrada indica que el vértice C produce las mayores ganancias. Consulte la gráfica y la tabla.

VÉRTICE	VALORES DE X_1, X_2	VALOR DE LA FUNCIÓN OBJETIVO ($)
A	(0, 0)	0
B	(60, 0)	3,000
C	(60, 40)	3,800
D	(40, 80)	3,600
E	(0, 100)	2,000



Problema resuelto 7-2

En el siguiente programa, se presenta la solución obtenida con QM para Windows para el problema resuelto 7-1. Use esto para responder las siguientes preguntas.

a. Para la solución óptima, ¿cuánto del presupuesto de publicidad se gasta?
b. Para la solución óptima, ¿qué cantidad de metros cuadrados se utilizarán?
c. ¿Cambiaría la solución si el presupuesto fuera sólo de $3,000 en vez de $4,000?
d. ¿Cuál sería la solución óptima si la utilidad en los espacios grandes se redujeran de $50 a $45?
e. ¿Cuánto aumentarían las ganancias si el requisito de los pies cuadrados se incrementara de 8,000 a 9,000?

Linear Programming Results

Solved Problem 7-2 Solution

	X1	X2		RHS	Dual
Maximize	50	20			
Constraint 1	20	40	<=	4,000	0
Constraint 2	100	50	<=	8,000	0.4
Constraint 3	1	0	<=	60	10
Solution->	60	40		3,800	

Ranging

Solved Problem 7-2 Solution

Variable	Value	Reduced	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	60	0	50	40	Infinity
X2	40	0	20	0	25
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	1,200	4,000	2,800	Infinity
Constraint 2	0.4	0	8,000	6,000	9,500
Constraint 3	10	0	60	40	80

Solución

a. En la solución óptima, $X_1 = 60$ y $X_2 = 40$. Si se usan estos valores en la primera restricción resulta

$$20X_1 + 40X_2 = 20(60) + 40(40) = 2{,}800$$

Otra manera de encontrar esto consiste en observar la holgura:

Holgura para la restricción 1 = 1,200 por lo que la cantidad utilizada es 4,000 − 1,200 = 2,800

b. Para la segunda restricción tenemos

$$100X_1 + 50X_2 = 100(60) + 50(40) = 8{,}000 \text{ pies cuadrados}$$

En lugar de calcular esto, podemos simplemente observar que la holgura es 0, por lo que se utilizarán los 8,000 pies cuadrados disponibles.

c. No, la solución no cambiaría. El precio dual es 0 y no hay holgura disponible. El valor de 3,000 está entre el límite inferior de 2,800 y el límite superior infinito. Sólo cambiaría la holgura para esta restricción.

d. Dado que el nuevo coeficiente para X_1 está entre el límite inferior (40) y el límite superior (infinito), el vértice actual sigue siendo óptimo. Así que $X_1 = 60$ y $X_2 = 40$, y sólo cambian las ganancias mensuales.

$$\text{Ganancias} = 45(60) + 20(40) = \$3{,}500$$

e. El precio dual para esta restricción es de 0.4, y el límite superior es 9,500. El aumento de 1,000 unidades se traducirá en un aumento en las ganancias de 1,000(0.4 por unidad) = $400.

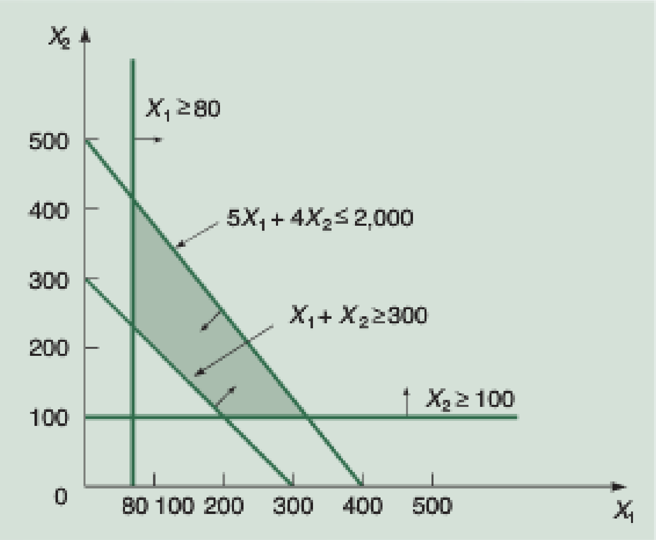
Problema resuelto 7-3

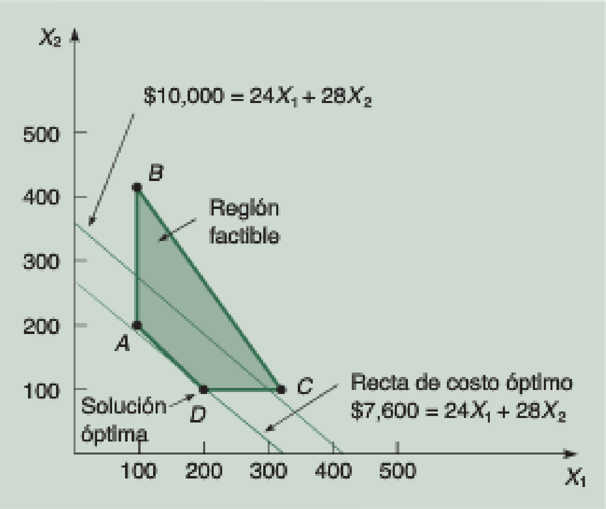
Resuelva la siguiente formulación de PL en forma gráfica; para ello, utilice el enfoque de la recta de isocosto:

$$\begin{aligned}
\text{Minimizar los costos} &= 24X_1 + 28X_2 \\
\text{sujetos a} \quad & 5X_1 + 4X_2 \leq 2{,}000 \\
& X_1 \geq 80 \\
& X_1 + X_2 \geq 300 \\
& X_2 \geq 100 \\
& X_1, X_2 \geq 0
\end{aligned}$$

Solución

A continuación, se presenta una gráfica de las cuatro restricciones. Las flechas indican la dirección de la factibilidad para cada restricción. La siguiente gráfica ilustra la región de soluciones factibles y presenta dos posibles rectas de costos para la función objetivo. La primera, se seleccionó arbitrariamente en $10,000 como punto de partida. Para encontrar el vértice óptimo, es necesario mover la recta de costos en la dirección de menor costo, es decir, hacia abajo y hacia la izquierda. El último punto donde una recta de costos toca la región factible, mientras se mueve hacia el origen, es el vértice *D*. De este modo *D*, que representa $X_1 = 200$, $X_2 = 100$ y un costo de $7,600, es óptimo.





Problema resuelto 7-4

Resuelva el siguiente problema usando el método de los vértices. Para la solución óptima, ¿cuánta holgura o excedente existen para cada restricción?

$$\text{Maximizar la utilidad} = 30X_1 + 40X_2$$

$$\begin{aligned} \text{sujeta a} \quad 4X_1 + 2X_2 &\leq 16 \\ 2X_1 - X_2 &\geq 2 \\ X_2 &\leq 2 \\ X_1, X_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Solución

A continuación se presenta la gráfica junto con la región factible sombreada.

PUNTO DE ESQUINA	COORDENADAS	UTILIDAD ($)
A	$X_1 = 1, X_2 = 0$	30
B	$X_1 = 4, X_2 = 0$	120
C	$X_1 = 3, X_2 = 2$	170
D	$X_1 = 2, X_2 = 2$	140

La solución óptima es (3, 2). Para este punto,

$$4X_1 + 2X_2 = 4(3) + 2(2) = 16$$

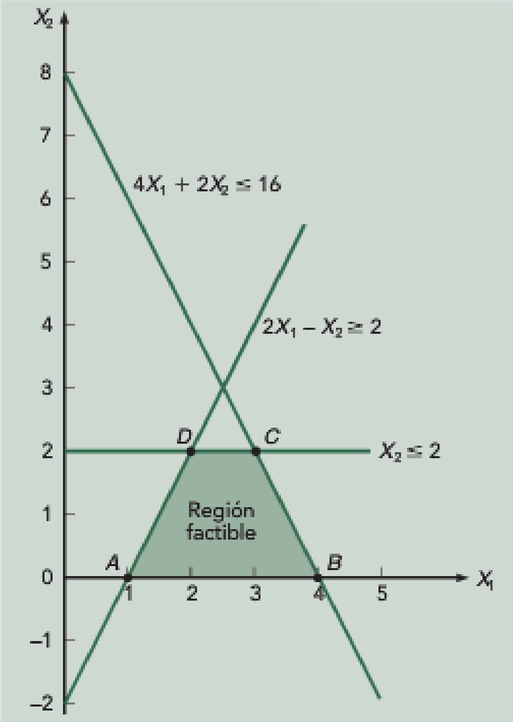
Por lo tanto, la holgura = 0 para la restricción 1. Además,

$$2X_1 - 1X_2 = 2(3) - 1(2) = 4 > 2$$

Entonces, el excedente = 4 − 2 = 2 para la restricción 2. Además,

$$X_2 = 2$$

Por consiguiente, la holgura = 0 para la restricción 3.



La utilidad óptima de $170 está en el vértice *C*.

Autoevaluación

- Antes de realizar la autoevaluación, consulte los objetivos de aprendizaje al comienzo del capítulo, las notas en los márgenes y el glosario al final del capítulo.
- Consulte las soluciones en la parte final del libro para corregir sus respuestas.
- Vuelva a estudiar las páginas que correspondan a todas las preguntas que respondió incorrectamente o al material del que no se sienta seguro.

1. Cuando se utiliza un procedimiento de solución gráfica, la región limitada por el conjunto de restricciones se llama
   a. solución.
   b. región factible.
   c. región no factible.
   d. región de máxima utilidad.
   e. ninguna de las anteriores.
2. En un problema de PL, al menos un vértice debe ser una solución óptima, si es que existe alguna.
   a. Verdadero
   b. Falso
3. Un problema de PL tiene una región factible acotada. Si este problema tiene una restricción de igualdad (=), entonces,
   a. éste debe ser un problema de minimización.
   b. la región factible debe constar de un segmento de recta.
   c. el problema debe ser degenerado.
   d. el problema debe tener más de una solución óptima.
4. ¿Cuál de las siguientes opciones causaría un cambio en la región factible?
   a. El aumento de un coeficiente de la función objetivo en un problema de maximización
   b. La adición de una restricción redundante
   c. Un cambio en el lado derecho de una restricción no redundante
   d. El aumento de un coeficiente de la función objetivo en un problema de minimización
5. Si una restricción no redundante se elimina de un problema de PL, entonces,
   a. la región factible se hará más grande.
   b. la región factible se hará más pequeña.
   c. el problema se volvería no lineal.
   d. el problema se haría no factible.
6. En la solución óptima de un programa lineal, hay 20 unidades de holgura para una restricción. De esto, sabemos que
   a. el precio dual para esta restricción es 20.
   b. el precio dual para esta restricción es 0.
   c. esta restricción debe ser redundante.
   d. éste debe ser un problema de maximización.
7. Se resolvió un programa lineal y se realizó un análisis de sensibilidad. Se encontraron los rangos para los coeficientes de la función objetivo. Para la utilidad en X_1, el límite superior es de 80, el límite inferior de 60 y el valor actual es 75. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones debe ser cierta si la utilidad en esta variable se reduce a 70 y se encuentra la solución óptima?
   a. Un nuevo vértice se volverá óptimo.
   b. La utilidad total máxima posible puede aumentar.
   c. Los valores para todas las variables de decisión seguirán siendo los mismos.
   d. Todo lo anterior es posible.
8. Un método gráfico sólo se debería utilizar para resolver un problema de PL cuando
   a. sólo hay dos restricciones.
   b. hay más de dos restricciones.
   c. sólo hay dos variables.
   d. hay más de dos variables.
9. En PL, las variables no tienen que asumir valores enteros y pueden tomar cualquier valor fraccionario. Este supuesto se llama
   a. proporcionalidad.
   b. divisibilidad.
   c. aditividad.
   d. certidumbre.
10. Al resolver un programa lineal, existe una solución no factible. Para resolver este problema podríamos
   a. agregar otra variable.
   b. agregar otra restricción.
   c. eliminar o relajar una restricción.
   d. probar un programa de computadora diferente.
11. Si la región factible se hace más grande debido a un cambio en una de las restricciones, el valor óptimo de la función objetivo
   a. debe aumentar o permanecer igual para un problema de maximización.
   b. debe disminuir o permanecer igual para un problema de maximización.
   c. debe aumentar o permanecer igual para un problema de minimización.
   d. no puede cambiar.
12. Cuando existen soluciones óptimas múltiples en un problema de PL, entonces,
   a. la función objetivo será paralela a una de las restricciones.
   b. una de las restricciones será redundante.
   c. dos restricciones serán paralelas.
   d. el problema también será no acotado.
13. Si un programa lineal es no acotado, el problema probablemente no se ha formulado correctamente. ¿Cuál de las siguientes causas sería la más probable?
   a. Una restricción fue inadvertidamente omitida.
   b. Se agregó una restricción innecesaria al problema.
   c. Los coeficientes de la función objetivo son demasiado grandes.
   d. Los coeficientes de la función objetivo son demasiado pequeños.
14. Una solución factible a un problema de PL
   a. debe satisfacer todas las restricciones del problema en forma simultánea.
   b. no tendría que satisfacer todas las restricciones, tan sólo algunas.
   c. debe ser un vértice de la región factible.
   d. tiene que proporcionar la máxima utilidad posible.

Preguntas para análisis y problemas

Preguntas para análisis

7-1 Comente las semejanzas y diferencias entre los problemas de minimización y maximización, utilizando los métodos de solución gráfica de PL.

7-2 Es importante entender los supuestos subyacentes al uso de cualquier modelo de análisis cuantitativo. ¿Cuáles son los supuestos y requisitos para formular y utilizar un modelo de programación lineal?

7-3 Se ha dicho que cada problema de PL que tiene una región factible posee un número infinito de soluciones. Explique esa afirmación.

7-4 Usted acaba de formular un problema de PL de maximización y está preparándose para resolverlo gráficamente. ¿Qué criterios debería considerar al decidir si sería más fácil resolver el problema por el método de los vértices o con el enfoque de la recta de isoutilidad?

7-5 ¿En qué condiciones es posible que un problema de PL tenga más de una solución óptima?

7-6 Desarrolle su propio conjunto de ecuaciones de restricción y desigualdades y utilícelas para ilustrar gráficamente cada una de las siguientes condiciones:

(a) un problema no acotado
(b) un problema no factible
(c) un problema que contiene restricciones redundantes

7-7 El gerente de producción de una empresa manufacturera grande en Cincinnati hizo alguna vez la siguiente declaración: "Me gustaría utilizar la PL, pero es una técnica que funciona en condiciones de certidumbre. Mi planta no tiene esa certidumbre; es un mundo de incertidumbre. Así que la PL no se puede utilizar aquí", ¿Cree usted que esta afirmación tenga algún mérito? Explique por qué el gerente la pudo haber dicho.

7-8 Las siguientes relaciones matemáticas fueron formuladas por un analista de investigación de operaciones en la compañía Smith-Lawton Chemical. ¿Cuáles no son válidas para ser usadas en un problema de PL y por qué?

$$
\begin{array}{llr}
\text{Maximizar la utilidad} = & 4X_1 + 3X_1X_2 + 8X_2 + 5X_3 & \\
\text{sujeta a} & 2X_1 + X_2 + 2X_3 \leq 50 & \\
& X_1 - 4X_2 \geq 6 & \\
& 1.5X_1^2 + 6X_2 + 3X_3 \geq 21 & \\
& 19X_2 - 0.35X_3 = 17 & \\
& 5X_1 + 4X_2 + 3\sqrt{X_3} \leq 80 & \\
& -X_1 - X_2 + X_3 = 5 &
\end{array}
$$

7-9 Comente el papel del análisis de sensibilidad en la PL. ¿En qué circunstancias se necesita, y en qué condiciones piensa usted que no es necesario?

7-10 Un programa lineal tiene el objetivo de maximizar la utilidad $= 12X + 8Y$. La utilidad máxima es de \$8,000. Con el uso de una computadora encontramos que el límite superior para la utilidad en X es 20 y que el límite inferior es 9. Comente los cambios a la solución óptima (los valores de las variables y la utilidad) que se producirían si la utilidad en X se incrementara a \$15. ¿Cómo cambiaría la solución óptima si la utilidad en X se incrementara a \$25?

7-11 Un programa lineal tiene una utilidad máxima de \$600. Una restricción en este problema es $4X + 2Y \leq 80$. Con el uso de una computadora, encontramos que el precio dual para esta restricción es 3, y que tiene un límite inferior de 75 y un límite superior de 100. Explique lo que esto significa.

7-12 Desarrolle su propio problema de PL original con dos restricciones y dos variables reales.

(a) Explique el significado de los números en el lado derecho de cada una de sus restricciones.
(b) Explique el significado de los coeficientes tecnológicos.
(c) Resuelva el problema de forma gráfica para encontrar la solución óptima.
(d) Ilustre gráficamente el efecto de aumentar la tasa de contribución de su primera variable (X_1) en 50% con respecto al valor que le asignó a la misma en un principio. ¿Cambia esto la solución óptima?

7-13 Explique cómo un cambio en un coeficiente tecnológico puede afectar la solución óptima de un problema. ¿Cómo puede un cambio en la disponibilidad de recursos afectar una solución?

Problemas

• 7-14 La Electrocomp Corporation fabrica dos productos eléctricos: aires acondicionados y ventiladores de gran tamaño. Los procesos de ensamble para cada uno se parecen en que ambos requieren cierta cantidad de cableado y perforaciones. Cada aparato de aire acondicionado requiere 3 horas para el cableado y 2 horas para las perforaciones. Cada ventilador tiene que pasar 2 horas en cableado y 1 hora en perforación. Durante el siguiente periodo de producción, hay 240 horas de tiempo de cableado disponibles y se pueden usar hasta 140 horas de tiempo de perforación. Cada aparato de aire acondicionado que se vende produce una utilidad de \$25. Cada ventilador ensamblado se puede vender para obtener una utilidad de \$15. Formule y resuelva un problema de PL para esta situación de mezcla de producción con la finalidad de encontrar la mejor combinación de aires acondicionados y ventiladores que produce la mayor utilidad. Utilice el método gráfico de los vértices.

• 7-15 La gerencia de Electrocomp se da cuenta de que olvidó incluir dos restricciones fundamentales (vea el problema 7-14). En particular, la gerencia decide que debería haber un número mínimo de aparatos de aire acondicionado

Nota: significa que el problema puede resolverse con QM para Windows; significa que el problema puede resolverse con Excel QM, y significa que el problema puede resolverse con QM para Windows y/o Excel QM.

fabricados para cumplir un contrato. También, debido a un exceso de oferta de ventiladores en el periodo anterior, se debería colocar un límite al número total de ventiladores producidos.

(a) Si Electrocomp decide que se deberían producir al menos 20 equipos de aire acondicionado, pero no más de 80 ventiladores, ¿cuál sería la solución óptima? ¿Cuánta holgura o excedente habría para cada una de las cuatro restricciones?

(b) Si Electrocomp decide que se deben producir al menos 30 equipos de aire acondicionado, pero no más de 50 ventiladores, ¿cuál sería la solución óptima? ¿Cuánta holgura o excedente habría para cada una de las cuatro restricciones a la solución óptima?

7-16 Un candidato a alcalde en una pequeña ciudad ha destinado $40,000 a publicidad de última hora en los días anteriores a la elección. Se utilizarán dos tipos de anuncios: en radio y en televisión. Cada anuncio en radio cuesta $200 y alcanza un estimado de 3,000 personas. Cada anuncio en televisión cuesta $500 y alcanza un estimado de 7,000 personas. En la planeación de la campaña publicitaria, a la jefa de campaña le gustaría llegar a tantas personas como sea posible, pero ha estipulado que se deben emplear al menos 10 anuncios de cada tipo. Además, el número de anuncios de radio tiene que ser al menos tan grande como el número de anuncios de televisión. ¿Cuántos anuncios de cada tipo se deberían utilizar? ¿A cuántas personas llegará esto?

7-17 La Outdoor Furniture Corporation fabrica dos productos, bancas y mesas para día de campo, para su uso en patios y parques. La compañía cuenta con dos recursos principales: sus carpinteros (fuerza de trabajo) y un inventario de (madera) secuoya para utilizarse en los muebles. Durante el próximo ciclo de producción, hay 1,200 horas de trabajo disponibles en virtud de un acuerdo con el sindicato. La empresa también cuenta con un inventario de 3,500 pies en tablones de secuoya de buena calidad. Cada banca que produce Outdoor Furniture requiere 4 horas de trabajo y 10 pies en tablones de secuoya; cada mesa de picnic necesita 6 horas de trabajo y 35 pies en tablones de secuoya. Las bancas terminadas producen una utilidad de $9 cada una, y las mesas generan una utilidad de $20 cada una. ¿Cuántas bancas y mesas debería Outdoor Furniture producir para obtener la mayor utilidad posible? Utilice el método gráfico de PL.

7-18 El decano de la Universidad Occidental de Negocios debe planear la oferta de cursos de la escuela para el semestre de otoño. Las demandas estudiantiles hacen que sea necesario ofrecer al menos 30 de cursos de licenciatura y 20 de posgrado en el semestre. Los contratos del profesorado también indican que se ofrecerán al menos 60 cursos en total. Cada curso de licenciatura cuesta a la universidad un promedio de $2,500 en salarios del profesorado, y cada curso de posgrado le cuesta $3,000. ¿Cuántos cursos de licenciatura y posgrado deberían ofrecerse en el otoño, para que los salarios totales del profesorado se reduzcan al mínimo?

7-19 MSA Computer Corporation fabrica dos modelos de minicomputadoras, la Alfa 4 y la Beta 5. La firma emplea a cinco técnicos, que trabajan 160 horas mensuales cada uno, en su línea de montaje. La gerencia insiste en que se mantendrá el empleo de tiempo completo (es decir, todas las 160 horas de tiempo) para cada trabajador durante las operaciones del mes que viene. Se requieren 20 horas de mano de obra para ensamblar cada computadora Alpha 4 y 25 horas de mano de obra para ensamblar cada modelo Beta 5. MSA quiere producir al menos 10 Alpha 4 y al menos 15 Beta 5 durante el periodo de producción. Las Alpha 4 generan $1,200 de utilidad por unidad, y las Beta 5 generan $1,800 cada una. Determine el número más rentable de cada modelo de minicomputadora a producir durante el mes próximo.

7-20 Un ganador de la Lotería de Texas ha decidido invertir $50,000 al año en el mercado de valores, y está considerando las acciones de una empresa petroquímica y de un organismo público. Aunque una meta a largo plazo es conseguir el máximo rendimiento posible, algunas personas tienen en cuenta el riesgo involucrado en las acciones. Se asigna un índice de riesgo en una escala del 1 al 10 (donde 10 es lo más riesgoso) a cada una de las dos acciones. El riesgo total del portafolios se encuentra multiplicando el riesgo de cada acción por los dólares invertidos en dicha acción.

La siguiente tabla muestra un resumen del rendimiento y el riesgo:

ACCIÓN	RENDIMIENTO ESTIMADO	ÍNDICE DE RIESGO
Petroquímica	12%	9
Organismo	6%	4

Al inversionista le gustaría maximizar el rendimiento sobre la inversión, pero el índice de riesgo promedio de la inversión no debería ser superior a 6. ¿Cuánto debería invertir en cada acción? ¿Cuál es el riesgo promedio de esta inversión? ¿Cuál es el rendimiento estimado para la inversión?

7-21 Con referencia a la situación del ganador de la Lotería de Texas en el problema 7-20, suponga que el inversionista cambió su actitud acerca de la inversión y desea poner mayor énfasis en el riesgo de la inversión. Ahora el inversionista desea minimizar el riesgo de la inversión, siempre y cuando el rendimiento generado sea al menos de 8%. Formule esto como un problema de PL y encuentre la solución óptima. ¿Cuánto debería invertir en cada acción? ¿Cuál es el riesgo promedio de esa inversión? ¿Cuál es el rendimiento estimado para la inversión?

7-22 Resuelva el siguiente problema de PL utilizando el método de los vértices. En la solución óptima, calcule la holgura para cada restricción:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar la utilidad} &= 4X + 4Y \\ \text{sujeta a} \quad 3X + 5Y &\leq 150 \\ X - 2Y &\leq 10 \\ 5X + 3Y &\leq 150 \\ X, Y &\geq 0 \end{aligned}$$

7-23 Considere esta formulación de PL:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar el costo} &= \$X + 2Y \\ \text{sujeto a} \quad X + 3Y &\geq 90 \\ 8X + 2Y &\geq 160 \\ 3X + 2Y &\geq 120 \\ Y &\leq 70 \\ X, Y &\geq 0 \end{aligned}$$

Ilustre gráficamente la región factible y aplique el procedimiento de la recta de isocosto, para indicar qué vértice produce la solución óptima. ¿Cuál es el costo de esa solución?

7-24 La firma de corretaje Blank, Leibowitz & Weinberger ha analizado y recomendado dos acciones al club de profesores inversionistas de la universidad. Los profesores estaban interesados en factores como el crecimiento a corto plazo, el crecimiento intermedio y las tasas de dividendos. Estos datos son los siguientes para cada acción:

	ACCIÓN ($)	
FACTOR	LOUISIANA GAS AND POWER	COMPAÑÍA TRIMEX INSULATION
Crecimiento potencial a corto plazo, por dólar invertido	0.36	0.24
Crecimiento potencial intermedio (en los próximos tres años), por dólar invertido	1.67	1.50
Tasa potencial de dividendos	4%	8%

Cada miembro del club tiene una meta de inversión de **1.** una apreciación de no menos de $720 en el corto plazo; **2.** una apreciación de por lo menos $5,000 en los próximos tres años, y **3.** un ingreso de dividendos de al menos $200 al año. ¿Cuál es la inversión más pequeña que un profesor puede hacer para cumplir con estos tres objetivos?

7-25 Woofer Pet Foods produce un alimento bajo en calorías para perros con sobrepeso. Este producto está hecho a partir de productos de carne de res y granos. Cada libra de carne cuesta $0.90, y cada libra de grano cuesta $0.60. Una libra del alimento para perros debe contener al menos 9 unidades de vitamina 1 y 10 unidades de vitamina 2. Una libra de carne de res contiene 10 unidades de vitamina 1 y 12 unidades de vitamina 2. Una libra de grano contiene 6 unidades de vitamina 1 y 9 unidades de vitamina 2. Formule esto como un problema de PL para minimizar el costo del alimento para perros. ¿Cuántas libras de carne de res y de grano se deberían incluir en cada libra de alimento para perros? ¿Cuál es el costo y el contenido de vitamina del producto final?

7-26 El rendimiento estacional de aceitunas en un viñedo de Pireo, Grecia, está fuertemente influido por un proceso de poda de las ramas. Si los olivos se podan cada dos semanas, aumenta la producción. El proceso de poda, sin embargo, requiere una cantidad de mano de obra considerablemente mayor que dejar a los olivos crecer por su cuenta, lo cual resulta en aceitunas de menor tamaño. Sin embargo, también permite que los olivos tengan un menor espaciado entre sí. El rendimiento de 1 barril de aceitunas por la poda requiere 5 horas de mano de obra y 1 acre de tierra. La producción de un barril de aceitunas por el proceso normal requiere tan sólo 2 horas de mano de obra, pero requiere 2 acres de tierra. Un oleicultor tiene 250 horas de mano de obra disponibles y un total de 150 acres para el cultivo. Debido a la diferencia en el tamaño de las aceitunas, el barril de aceitunas producidas en los árboles podados se vende por $20, mientras que el barril de aceitunas regulares tiene un precio en el mercado de $30. El productor ha determinado que debido a la demanda incierta, no debería producir más de 40 barriles de aceitunas de árboles podados. Utilice PL gráfica para encontrar

(a) la máxima utilidad posible.
(b) la mejor combinación de barriles de aceitunas de árboles podados y regulares.
(c) el número de acres que el oleicultor debería dedicar a cada proceso de cultivo.

7-27 Considere las siguientes cuatro formulaciones de PL. Con base en un enfoque gráfico, determine

(a) qué formulación tiene más de una solución óptima.
(b) qué formulación es no acotada.
(c) qué formulación no tiene solución factible.
(d) qué formulación es correcta como está.

Formulación 1

$$\begin{aligned} \text{Maximizar} \quad & 10X_1 + 10X_2 \\ \text{sujeto a} \quad & 2X_1 \leq 10 \\ & 2X_1 + 4X_2 \leq 16 \\ & 4X_2 \leq 8 \\ & X_1 = 6 \end{aligned}$$

Formulación 2

$$\begin{aligned} \text{Maximizar} \quad & X_1 + 2X_2 \\ \text{sujeto a} \quad & X_1 \leq 1 \\ & 2X_2 \leq 2 \\ & X_1 + 2X_2 \leq 2 \end{aligned}$$

Formulación 3

$$\begin{aligned} \text{Maximizar} \quad & 3X_1 + 2X_2 \\ \text{sujeto a} \quad & X_1 + X_2 \geq 5 \\ & X_1 \geq 2 \\ & 2X_2 \geq 8 \end{aligned}$$

Formulación 4

$$\begin{aligned} \text{Maximizar} \quad & 3X_1 + 3X_2 \\ \text{sujeto a} \quad & 4X_1 + 6X_2 \leq 48 \\ & 4X_1 + 2X_2 \leq 12 \\ & 3X_2 \geq 3 \\ & 2X_1 \geq 2 \end{aligned}$$

7-28 Grafique el siguiente problema de PL e indique el punto de la solución óptima:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar la utilidad} &= \$3X + \$2Y \\ \text{sujeta a} \quad 2X + Y &\leq 150 \\ 2X + 3Y &\leq 300 \end{aligned}$$

(a) ¿Cambia la solución óptima si la utilidad por unidad de X cambia a $4.50?
(b) ¿Qué pasaría si la función de utilidad debería haber sido $\$3X + \$3Y$?

7-29 Analice gráficamente el siguiente problema:

$$\text{Maximizar la utilidad} = \$4X + \$6Y$$
$$\text{sujeta a} \quad X + 2Y \leq 8 \text{ horas}$$
$$6X + 4Y \leq 24 \text{ horas}$$

(a) ¿Cuál es la solución óptima?

(b) Si la primera restricción se convierte en $X + 3Y \leq 8$, ¿cambian la región factible o la solución óptima?

7-30 Examine la formulación de PL en el problema 7-29. La segunda restricción del problema se lee

$6X + 4Y \leq 24$ horas (tiempo disponible en la máquina 2)

Si la empresa decide que puede haber 36 horas disponibles de tiempo en la máquina 2 (es decir, un aumento de 12 horas) a un costo adicional de \$10, ¿deberían agregarse las horas?

7-31 Considere el siguiente problema de PL:

$$\text{Maximizar la utilidad} = 5X + 6Y$$
$$\text{sujeta a} \quad 2X + Y \leq 120$$
$$2X + 3Y \leq 240$$
$$X, Y \geq 0$$

(a) ¿Cuál es la solución óptima para este problema? Resuélvalo gráficamente.

(b) Si ocurrió un gran avance técnico que elevó la utilidad por unidad de X a \$8, ¿afectaría esto a la solución óptima?

(c) En vez de un aumento en el coeficiente de utilidad X a \$8, suponga que la utilidad se había sobrestimado y sólo debería haber sido de \$3. ¿Cambia esto la solución óptima?

7-32 Considere la formulación de PL dada en el problema 7-31. Si la segunda restricción se cambia de $2X + 3Y \leq 240$ a $2X + 4Y \leq 240$, ¿qué efecto tendrá esto en la solución óptima?

7-33 La salida de computadora que se muestra a continuación es para el problema 7-31. Úsela para responder las siguientes preguntas.

(a) ¿Cuánto podría aumentar o disminuir la utilidad en X sin cambiar los valores de X y Y en la solución óptima?

(b) Si el lado derecho de la restricción 1 se incrementara en 1 unidad, ¿cuánto aumentaría la utilidad?

(c) Si el lado derecho de la restricción 1 se incrementara en 10 unidades, ¿cuál sería el aumento de la utilidad?

7-34 La salida de computadora en la página siguiente es un problema de mezcla de productos donde hay dos productos y tres restricciones de recursos. Utilice la salida para ayudarse a responder las siguientes preguntas. En cada caso, suponga que usted desea maximizar la utilidad.

(a) ¿Cuántas unidades del producto 1 y del producto 2 deberían producirse?

(b) ¿Cuánto de cada uno de los tres recursos se está utilizando? ¿Cuánta holgura hay para cada restricción? ¿Cuáles de las restricciones son vinculantes y cuáles no vinculantes?

(c) ¿Cuáles son los precios duales para cada recurso?

(d) Si se pudiera obtener más de uno de los recursos, ¿cuál debería ser éste? ¿Cuánto se debería estar dispuesto a pagar por él?

(e) ¿Qué le pasaría a la utilidad si, con los resultados originales, la gerencia decidiera producir una unidad más de producto 2?

7-35 Resuelva gráficamente el siguiente problema:

$$\text{Maximizar la utilidad} = 8X_1 + 5X_2$$
$$\text{sujeta a} \quad X_1 + X_2 \leq 10$$
$$X_1 \leq 6$$
$$X_1, X_2 \geq 0$$

(a) ¿Cuál es la solución óptima?

(b) Cambie el lado derecho de la restricción 1 a 11 (en vez de 10) y resuelva el problema. ¿Cuánto aumentó la utilidad como resultado de esto?

Linear Programming Results

Problem 33 Solution

	X	Y		RHS	Dual
Maximize	5	6			
const 1	2	1	<=	120	0.75
const 2	2	3	<=	240	1.75
Solution->	30	60		510	

Ranging

Problem 33 Solution

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X	30	0	5	4	12
Y	60	0	6	2.5	7.5
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
const 1	0.75	0	120	80	240
const 2	1.75	0	240	120	360

Linear Programming Results

Problem 34 Solution					
	X1	X2		RHS	Dual
Maximize	50	20			
Constraint 1	1	2	<=	45	0
Constraint 2	3	3	<=	87	0
Constraint 3	2	1	<=	50	25
Solution->	25	0		1,250	

Ranging

Problem 34 Solution					
Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	25	0	50	40	Infinity
X2	0	5	20	-Infinity	25
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	20	45	25	Infinity
Constraint 2	0	12	87	75	Infinity
Constraint 3	25	0	50	0	58

Linear Programming Results

Problem 35 Solution					
	X1	X2		RHS	Dual
Maximize	8	5			
Constraint 1	1	1	<=	10	5
Constraint 2	1	0	<=	6	3
Solution->	6	4		68	

Ranging

Problem 35 Solution					
Variable	Value	Reduced	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	6	0	8	5	Infinity
X2	4	0	5	0	8
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	5	0	10	6	Infinity
Constraint 2	3	0	6	0	10

(c) Cambie el lado derecho de la restricción 1 a 6 (en vez de 10) y resuelva el problema. ¿Cuánto disminuyó la utilidad como resultado de esto? En cuanto a la gráfica, ¿qué pasaría si el valor del lado derecho estuviera por debajo de 6?

(d) Cambie el valor del lado derecho de la restricción 1 a 5 (en vez de 10) y resuelva el problema. ¿Cuánto disminuyó la utilidad con respecto a la utilidad original como resultado de esto?

(e) Con base en los resultados de la computadora en esta página, ¿cuál es el precio dual de la restricción 1? ¿Cuál es el límite inferior en ésta?

(f) ¿Qué conclusiones puede usted obtener de esto con respecto a los límites de los valores del lado derecho y del precio dual?

7-36 **Serendipity***

Los tres príncipes de Serendip
Hicieron un pequeño viaje.
No podían llevar mucho peso;
Más de 300 libras los hicieron dudar.
Planearon llevar pequeñas cantidades. Cuando regresaron a Ceilán
Descubrieron que sus suministros estaban a punto de desaparer
Cuando, qué alegría, el príncipe William se encontró
Una pila de cocos en el suelo.
"Cada uno nos aportará 60 rupias", dijo el príncipe Richard con una sonrisa

* La palabra *serendipity* fue acuñada por el escritor inglés Horace Walpole en relación con un cuento de hadas titulado *Los tres príncipes de Serendip*. La fuente del problema es desconocida

Cuando casi tropezó con una piel de león.
"¡Cuidado!", exclamó el príncipe Robert con júbilo
Cuando divisó algunas pieles de león más bajo un árbol.
"Éstas valen aún más: 300 rupias cada una
Si las podemos llevar todas a la playa".
Cada piel pesaba 15 libras y cada coco, 5,
Pero cargaron todo y lo hicieron con ánimo.
El barco de regreso a la isla era muy pequeño
15 pies cúbicos de capacidad para el equipaje: eso era todo.
Cada piel de león ocupaba un pie cúbico
Mientras que ocho cocos ocupaban el mismo espacio.
Con todo guardado se hicieron a la mar
Y en el trayecto calcularon cuál podría ser su nueva riqueza.
"¡Eureka!", Exclamó el príncipe Robert, "Nuestra riqueza es tan grande
Que no hay otra manera de que pudiéramos volver en este estado.
Cualesquiera otras pieles o cocos que podríamos haber traído
Ahora nos haría ser más pobres. Y ahora lo sé:
Le escribiré a mi amigo Horacio en Inglaterra, pues sin duda
Sólo él puede apreciar nuestro serendipity."

Formule y resuelva **Serendipity** mediante PL gráfica para calcular "cuál podría ser su nueva riqueza".

7-37 Inversiones Bhavika, un grupo de asesores financieros y planeadores de la jubilación, ha recibido una solicitud de asesoría sobre cómo invertir $200,000. El cliente ha estipulado que el dinero debe colocarse en un fondo de acciones o bien en un fondo del mercado de dinero, y el rendimiento anual debería ser al menos de $14,000. También se han especificado otras condiciones relacionadas con el riesgo, y se desarrolló el siguiente programa lineal para ayudar con esta decisión de inversión:

Minimizar riesgo $= 12S + 5M$

sujeto a

$S + M = 200{,}000$	la inversión total es de $200,000
$0.10S + 0.05M \geq 14{,}000$	el rendimiento debe ser al menos de $14,000
$M \geq 40{,}000$	al menos $40,000 deben colocarse en el fondo del mercado de dinero
$S, M \geq 0$	

donde

S = dólares invertidos en el fondo de acciones

M = dólares invertidos en el fondo del mercado de dinero

A continuación se muestra la salida de QM para Windows.

(a) ¿Cuánto dinero debería invertirse en el fondo del mercado de dinero y cuánto en el fondo de acciones? ¿Cuál es el riesgo total?
(b) ¿Cuál es el rendimiento total? ¿Qué tasa de retorno representa?
(c) ¿Cambiaría la solución si la medida de riesgo para cada dólar en el fondo de acciones fuera de 14 en vez de 12?
(d) Por cada dólar adicional que esté disponible, ¿cuánto cambia el riesgo?
(e) ¿Cambiaría la solución si la cantidad que debe invertirse en el fondo del mercado de dinero cambiara de $40,000 a $50,000?

7-38 Considere de nuevo la situación de Inversiones Bhavika (problema 7-37). Se ha decidido que, en vez de minimizar el riesgo, el objetivo debería ser maximizar el rendimiento, al tiempo que se pone una restricción a la cantidad de riesgo. El riesgo promedio no debe ser mayor que 11 (con

Linear Programming Results

Problem 37 Solution

	S	M		RHS	Dual
Minimize	12	5			
Constraint 1	1	1	=	200,000	2
Constraint 2	0.1	0.05	>=	14,000	-140
Constraint 3	0	1	>=	40,000	0
Solution->	80,000	120,000.0		1,560,000	

Ranging

Problem 37 Solution

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
S	80,000	0	12	5	Infinity
M	120,000.0	0	5	-Infinity	12
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	2	0	200,000	160,000	280,000
Constraint 2	-140	0	14,000	10,000	18,000
Constraint 3	0	80,000.01	40,000	-Infinity	120,000.0

Linear Programming Results

Problem 38 Solution

	S	M		RHS	Dual
Maximize	0.1	0.05			
Constraint 1	1	1	=	200,000	0.1
Constraint 2	12	5	<=	2,200,000	0
Constraint 3	0	1	>=	40,000	-0.05
Solution->	160,000	40,000		18,000	

Ranging

Problem 38 Solution

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
S	160,000	0	0.1	0.05	Infinity
M	40,000	0	0.05	-Infinity	0.1
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0.1	0	200,000	40,000	206,666.7
Constraint 2	0	80,000	2,200,000	2,120,000	Infinity
Constraint 3	-0.05	0	40,000	28,571.43	200,000

un riesgo total de 2,200,000 para los $200,000 invertidos). El programa lineal fue reformulado y la salida de QM de Windows se muestra arriba.

(a) ¿Cuánto dinero debería invertirse en el fondo del mercado de dinero y en el fondo de acciones? ¿Cuál es el rendimiento total? ¿Qué tasa de rendimiento representa esto?
(b) ¿Cuál es el riesgo total? ¿Cuál es el riesgo promedio?
(c) ¿Cambiaría solución si el rendimiento de cada dólar en el fondo de acciones fuera 0.09 en vez de 0.10?
(d) Por cada dólar adicional que esté disponible, ¿cuál es la tasa de rendimiento marginal?
(e) ¿Cuánto cambiaría el rendimiento total si la cantidad que debe invertirse en el fondo del mercado de dinero cambiara de $40,000 a $50,000?

Los problemas 7-39 a 7-44 prueban su capacidad para formular problemas de PL que tienen más de dos variables. No se pueden resolver gráficamente, pero le darán la oportunidad de formular un problema más grande.

7-39 El rancho Feed 'N Ship engorda ganado para los granjeros locales y lo envía a los mercados de carne en Kansas City y Omaha. Los propietarios del rancho tratan de determinar las cantidades de alimento para ganado que deben comprar, de modo que se cumplan los estándares nutricionales mínimos y que, al mismo tiempo, se minimicen los costos totales de alimentación. La mezcla de alimento puede estar compuesta por tres granos que contienen los siguientes ingredientes por libra de alimento:

	ALIMENTO (OZ)		
INGREDIENTE	MEZCLA X	MEZCLA Y	MEZCLA Z
A	3	2	4
B	2	3	1
C	1	0	2
D	6	8	4

El costo por libra de los granos X, Y y Z son $2, $4 y $2.50, respectivamente. El requisito mínimo por vaca por mes es de 4 libras del ingrediente A, 5 libras del ingrediente B, 1 libra del ingrediente C y 8 libras del ingrediente D.

El rancho se enfrenta a una restricción adicional: sólo puede obtener 500 libras del grano Z por mes de su proveedor, independientemente de lo que necesite. Debido a que, por lo general, hay 100 vacas en el rancho en un momento dado, esto significa que no se puede contar con más de 5 libras de la mezcla Z por mes para su uso en la alimentación de cada vaca.

(a) Formule esto como un problema de PL.
(b) Resuelva usando software de PL.

7-40 La Weinberger Electronics Corporation fabrica cuatro productos de alta tecnología que suministra a empresas aeroespaciales que tienen contratos con la NASA. Cada uno de los productos debe pasar por los siguientes departamentos antes de ser enviados: cableado, taladrado, montaje e inspección. En la siguiente tabla, se resumen el requisito de tiempo en horas para cada unidad producida y el valor de la utilidad correspondiente:

	DEPARTAMENTO				
PRODUCTO	CABLEADO	TALADRADO	MONTAJE	INSPECCIÓN	UTILIDAD UNITARIA ($)
XJ201	0.5	0.3	0.2	0.5	9
XM897	1.5	1	4	1	12
TR29	1.5	2	1	0.5	15
BR788	1	3	2	0.5	11

La producción disponible en cada departamento cada mes, y el requisito de producción mensual mínimo para cumplir con los contratos, son los siguientes:

DEPARTAMENTO	CAPACIDAD (HORAS)	PRODUCTO	NIVEL MÍNIMO DE PRODUCCIÓN
Cableado	15,000	XJ201	150
Taladrado	17,000	XM897	100
Montaje	26,000	TR29	300
Inspección	12,000	BR788	400

El gerente de producción tiene la responsabilidad de especificar los niveles de producción de cada producto para el próximo mes. Ayúdale mediante la formulación (es decir, el establecimiento de las restricciones y la función objetivo) del problema de Weinberger utilizando PL.

7-41 Outdoor Inn, un fabricante de equipo de campamento al sur de Utah, está desarrollando un programa de producción de un tipo popular de tienda de campaña, la Doble Inn. Se han recibido pedidos por 180 de ellas, que se entregarán a finales de este mes, 220 que se entregarán al final del próximo mes y 240 que se entregarán al final del mes que le sigue. Esta tienda de campaña se puede fabricar a un costo de $120, y el número máximo de tiendas que puede producirse en un mes es 230. La empresa puede producir algunas tiendas adicionales en un mes y mantenerlas en almacenamiento hasta el próximo mes. El costo de mantenerlas en inventario durante 1 mes se estima en $6 por cada tienda que queda al final del mes. Formule esto como un problema de programación lineal para minimizar el costo, al tiempo que se satisface la demanda sin exceder la capacidad de producción mensual. Resuelva usando cualquier software. (*Sugerencia:* Defina las variables para representar el número de tiendas de campaña que quedan al final de cada mes).

7-42 Outdoors Inn (vea el problema 7-41) expandió sus operaciones de fabricación de tiendas de campaña más adelante en el año. Sin dejar de hacer la carpa Double Inn, también está haciendo una carpa más grande, la Family Rolls, que tiene cuatro habitaciones. La empresa puede producir hasta un total de 280 tiendas de campaña al mes. La siguiente tabla proporciona la demanda que se debe satisfacer y los costos de producción para los próximos 3 meses. Tenga en cuenta que los costos aumentarán en el mes 2. El costo de almacenamiento por mantener una tienda de campaña en inventario al final del mes, para su uso el próximo mes, se estima en $6 por tienda para la Double Inn y $8 para la Family Rolls. Desarrolle un programa lineal para minimizar el costo total. Resuelva usando cualquier software.

MES	DEMANDA DE LA DOUBLE INN	COSTO POR PRODUCIR LA DOUBLE INN	DEMANDA DE LA FAMILY ROLLS	COSTO POR PRODUCIR LA FAMILY ROLLS
1	185	$120	60	$150
2	205	$130	70	$160
3	225	$130	65	$160

7-43 Modem Corporation of America (MCA) es el mayor productor mundial de dispositivos de comunicación con módems para microcomputadoras. MCA vendió 9,000 unidades del modelo regular y 10,400 unidades del modelo inteligente este mes de septiembre. Su estado de resultados del mes se muestra en la tabla para el problema 7-43. Los costos presentados son típicos de los meses anteriores y se espera que permanezcan en los mismos niveles en un futuro próximo.

La empresa se enfrenta a varias restricciones, mientras prepara su plan de producción de noviembre. En primer lugar, ha experimentado una enorme demanda y ha sido incapaz de mantener algún inventario significativo en existencia. No se espera que esta situación cambie. En segundo lugar, la empresa se encuentra en un pequeño pueblo de Iowa donde la mano de obra adicional no está disponible fácilmente. Sin embargo, los trabajadores pueden cambiarse de la producción de un módem a otro. Para producir los 9,000 módems regulares en septiembre requiere 5,000 horas de mano de obra directa. Los 10,400 módems inteligentes necesitan 10,400 horas de mano de obra directa.

En tercer lugar, MCA está experimentando un problema que afecta al modelo de los módems inteligentes. Su proveedor de componentes es capaz de garantizar sólo 8,000 microprocesadores para ser entregados en noviembre. Cada módem inteligente requiere uno de estos microprocesadores hechos a la medida. No hay proveedores alternativos disponibles a corto plazo.

TABLA PARA EL PROBLEMA 7-43

Estado de resultados mensual para MCA al 30 de septiembre

	MÓDEMS REGULARES	MÓDEMS INTELIGENTES
Ventas	$450,000	$640,000
Menos: Descuentos	10,000	15,000
Devoluciones	12,000	9,500
Reemplazos por garantía	4,000	2,500
Ventas netas	$424,000	$613,000
Costos de venta		
Mano de obra directa	60,000	76,800
Mano de obra indirecta	9,000	11,520
Costo de materiales	90,000	128,000
Depreciación	40,000	50,800
Costo de ventas	$199,000	$267,120
Utilidad bruta	$225,000	$345,880
Gastos comerciales y generales		
Gastos generales-variables	30,000	35,000
Gastos generales-fijos	36,000	40,000
Publicidad	28,000	25,000
Comisiones de ventas	31,000	60,000
Costo de operación total	$125,000	$160,000
Ingreso antes de impuestos	$100,000	$185,880
Impuesto sobre la renta (25%)	25,000	46,470
Ingreso neto	$ 75,000	$139,410

MCA quiere planear la combinación óptima de los dos modelos de módem a producir en noviembre, para maximizar las utilidades de MCA.

(a) Formule, utilizando los datos de septiembre, el problema de MCA como un programa lineal.
(b) Resuelva el problema de forma gráfica.
(c) Comente las implicaciones de su solución recomendada.

7-44 En conjunto con químicos del Virginia Tech y la George Washington University, el contratista paisajista Kenneth Golding mezcla su propio fertilizante, llamado "Golding-Grow", que consta de cuatro compuestos químicos, C-30, C-92, D-21 y E-11. A continuación, se indica el costo por libra de cada compuesto:

COMPUESTO QUÍMICO	COSTO POR LIBRA ($)
C-30	0.12
C-92	0.09
D-21	0.11
E-11	0.04

Las especificaciones para Golding-Grow son las siguientes: 1. E-11 debe constituir al menos 15% de la mezcla; 2. C-92 y C-30 en conjunto deben representar al menos 45% de la mezcla; 3. D-21 y C-92 no pueden constituir juntos más de 30% de la mezcla, y 4. Golding-Grow se empaqueta y se vende en bolsas de 50 libras.

(a) Formule un problema de PL para determinar qué mezcla de los cuatro productos químicos permitirá a Golding minimizar el costo de una bolsa de 50 lb de fertilizante.
(b) Resuelva usando una computadora para encontrar la mejor solución.

7-45 Raptor Fuels produce tres grados de gasolina: regular, premium y súper. Todas se producen mediante la mezcla de dos tipos de petróleo crudo (A y B). Los dos tipos contienen ingredientes específicos que ayudan a determinar el octanaje de la gasolina. Los ingredientes y los costos importantes se muestran en la siguiente tabla:

	CRUDO A	CRUDO B
Costo por galón	$0.42	$0.47
Ingrediente 1	40%	52%
Otros ingredientes	60%	48%

Con la finalidad de alcanzar los octanajes deseados, por lo menos 41% de la gasolina regular debería ser del ingrediente 1; al menos 44% de la gasolina premium debe ser del ingrediente 1, y al menos 48% de la gasolina súper debe ser del ingrediente 1. Debido a los compromisos contractuales actuales, Raptor Fuels tiene que producir al menos 20,000 galones de gasolina regular, al menos 15,000 galones de premium y al menos 10,000 galones de súper. Formule un programa lineal que pueda usarse para determinar la cantidad de crudo A y crudo B que debería emplearse en cada una de las gasolinas para satisfacer las demandas a costo mínimo. ¿Cuál es este costo mínimo? ¿Cuánto crudo A y crudo B se utiliza en cada galón de los diferentes tipos de gasolina?

Estudio de caso

Trabajo en Mexicana Wire

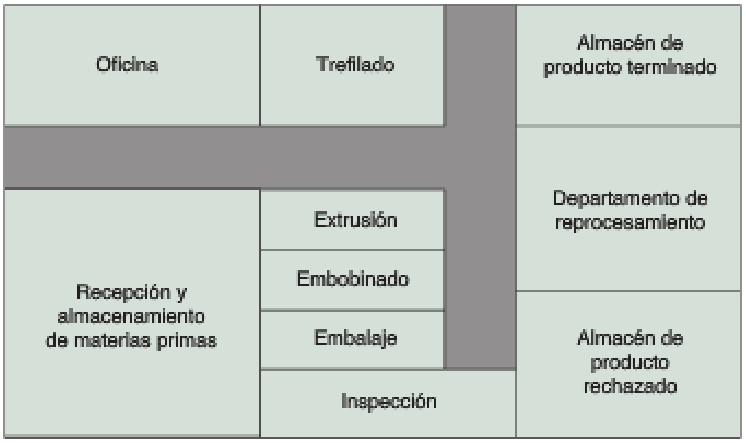
Ron García se sentía bien en su primera semana como practicante en la gerencia Mexicana Wire Winding, Inc. Aún no había desarrollado ningún conocimiento técnico sobre el proceso de manufactura, pero había recorrido toda la planta, ubicada en los suburbios de la Ciudad de México, y había conocido a muchas personas en diversas áreas de la operación.

Mexicana, filial de Westover Wire Works, una empresa de Texas, es un productor de tamaño medio de bobinas de alambre utilizadas en la fabricación de transformadores eléctricos. José Arroyo, el gerente de control de producción, describió el embobinado a García como un diseño estandarizado. El recorrido de García por la planta, distribuida de acuerdo con el tipo de proceso (vea la figura 7.20), siguió la secuencia de fabricación de las bobinas: trefilado, extrusión, embobinado, inspección y embalaje. Después de la inspección, los productos aprobados se empaquetan y se envían al almacén de producto terminado; los productos defectuosos se almacenan por separado hasta que puedan reutilizarse.

El 8 de marzo, Vivian España, gerente general de Mexicana, pasó por la oficina de García y le pidió que asistiera a una reunión de personal a la 1:00 P.M.

"Vamos a empezar con nuestro asunto", dijo Vivian, al abrir la reunión. "Ya todos conocen a Ron García, nuestro nuevo gerente en capacitación. Ron estudió investigación de operaciones en su programa de MBA en el sur de California, así que creo que es competente para ayudarnos con un problema que hemos estado discutiendo durante mucho tiempo sin resolución. Estoy segura de que todos ustedes, el personal de la empresa, dará a Ron su plena cooperación".

FIGURA 7.20
Mexicana Wire Winding, Inc.



Vivian se volvió hacia José Arroyo, gerente de producción. "José, ¿por qué no describes el problema que estamos enfrentando?"

"Bueno", dijo José, "el negocio está muy bien en este momento. Vamos a recibir más pedidos de los que podemos cumplir. Tendremos equipo nuevo en línea dentro de los próximos meses, lo cual resolverá nuestros problemas de capacidad, pero eso no nos ayudará en abril. He localizado a algunos empleados jubilados que solían trabajar en el departamento de trefilado, y estoy pensando en emplearlos temporalmente en abril para aumentar la capacidad. Debido a que estamos planeando refinanciar parte de nuestra deuda a largo plazo, Vivian quiere que nuestras utilidades se vean lo mejor posible en abril. Estoy teniendo dificultades para averiguar cuáles pedidos ejecutar y cuáles poner en espera para hacer que nuestro estado de resultados se vea tan bien como sea posible. ¿Puedes ayudarme con esto?"

García se sorprendió y se preocupó al recibir una misión tan importante y de alto perfil tan pronto en su carrera. Recuperándose rápidamente, dijo: "Dame los datos y déjame trabajar con ellos uno o dos días".

Datos de la operación seleccionados
Producción promedio por mes = 2,400 unidades
Utilización promedio de máquina = 63%
Porcentaje promedio de producción enviada al departamento de reprocesamiento = 5% (mayormente del departamento de embobinado)
Número promedio de unidades rechazadas en espera de reprocesamiento = 850 (mayormente del departamento de embobinado)

Capacidad de la planta (horas)

TREFILADO	EXTRUSIÓN	EMBOBINADO	EMBALAJE
4,000	4,200	2,000	2,300

Nota: La capacidad de inspección no es un problema; podemos trabajar tiempo extra cuando sea necesario para ajustarnos a cualquier horario.

Pedidos de abril

Producto W0075C	1,400 unidades
Producto W0033C	250 unidades
Producto W0005X	1,510 unidades
Producto W0007X	1,116 unidades

Nota: Vivian España ha dado su palabra a un cliente importante de que fabricaremos para él 600 unidades del producto W0007X y 150 unidades del producto W0075C durante abril

Costo de la mano de obra (horas/unidad)

PRODUCTO	TREFILADO	EXTRUSIÓN	EMBOBINADO	EMBALAJE
W0075C	1.0	1.0	1.0	1.0
W0033C	2.0	1.0	3.0	0.0
W0005X	0.0	4.0	0.0	3.0
W0007X	1.0	1.0	0.0	2.0

Costo estándar

PRODUCTO	MATERIAL	MANO DE OBRA	COSTO GENERAL	PRECIO DE VENTA
W0075C	$33.00	$ 9.90	$23.10	$100.00
W0033C	25.00	7.50	17.50	80.00
W0005X	35.00	10.50	24.50	130.00
W0007X	75.00	11.25	63.75	175.00

Preguntas para análisis

1. ¿Qué recomendaciones debería hacer Ron García y con qué justificación? Proporcione un análisis detallado con gráficas, diagramas e impresiones de computadora.
2. Analice la posible necesidad de trabajadores temporales en el departamento de trefilado.
3. Analice la distribución de planta.

Fuente: Profesor Victor E. Sower, Sam Houston State University. Este material se basa en una situación real. Los nombres y datos fueron alterados para conservar su confidencialidad.

Estudio de caso en Internet

Visite nuestra página en Internet, **www.pearsonenespañol.com/render**, y consulte este estudio de caso adicional: **Agri Chem Corporation**. Se refiere a la respuesta que da una empresa a una escasez de energía.

Bibliografía

Bassamboo, Achal, J. Michael Harrison y Assaf Zeevi. "Design and Control of a Large Call Center: Asymptotic Analysis of an LP-Based Method", *Operations Research* 54, 3 (mayo-junio de 2006): 419-435.

Behjat, Laleh, Anthony Vannelli y William Rosehart. "Integer Linear Programming Model for Global Routing", *INFORMS Journal on Computing* 18, 2 (primavera de 2006): 137-150.

Bixby, Robert E. "Solving Real-World Linear Programs: A Decade and More of Progress", *Operations Research* 50, 1 (enero-febrero de 2002): 3-15.

Bodington, C. E. y T. E. Baker. "A History of Mathematical Programming in the Petroleum Industry", *Interfaces* 20, 4 (julio-agosto de 1990): 117-132.

Boros, E., L. Fedzhora, P. B. Kantor, K. Saeger y P. Stroud. "A Large-Scale Linear Programming Model For Finding Optimal Container Inspection Strategies", *Naval Research Logistics* 56, 5 (agosto de 2009): 404-420.

Chakravarti, N. "Tea Company Steeped in OR", *OR/MS Today* 27, 2 (abril de 2000): 32-34.

Ching, Wai-Ki, Wai-On Yuen, Michael K. Ng y Shu-Qin Zhang. "A Linear Programming Approach for Determining Optimal Advertising Policy", *IMA Journal of Management Mathematics* 17, 1 (2006): 83-96.

Dantzig, George B. "Linear Programming Under Uncertainty", *Management Science* 50, 12 (diciembre de 2004): 1764-1769.

Degbotse, Alfred, Brian T. Denton, Kenneth Fordyce, R. John Milne, Robert Orzell y Chi-Tai Wang. "IBM Blends Heuristics and Optimization to Plan Its Semiconductor Supply Chain", *Interfaces* 43 (marzo/abril de 2013): 130-141.

Gass, Saul I. "The First Linear-Programming Shoppe", *Operations Research* 50, 1 (enero-febrero de 2002): 61-68.

Greenberg, H. J. "How to Analyze the Results of Linear Programs—Part 1: Preliminaries", *Interfaces* 23, 4 (julio-agosto de 1993): 56-68.

Greenberg, H. J. "How to Analyze the Results of Linear Programs—Part 3: Infeasibility Diagnosis", *Interfaces* 23, 6 (noviembre–diciembre de 1993): 120-139.

Hafizoğlu, A. B. y M. Azizoğlu. "Linear Programming Based Approaches for the Discrete Time/Cost Trade-off Problem in Project Networks", *Journal of the Operational Research Society* 61 (abril de 2010): 676-685.

Higle, Julia L. y Stein W. Wallace. "Sensitivity Analysis and Uncertainty in Linear Programming", *Interfaces* 33, 4 (julio-agosto de 2003): 53-60.

Marszalkowski, Jakub y Drozdowski Maciej. "Optimization of Column Width in Website Layout for Advertisement Fit", *European Journal of Operational Research* 226, 3 (mayo de 2013): 592-601.

Murphy, Frederic H. "ASP, the Art and Science of Practice: Elements of a Theory of the Practice of Operations Research: Expertise in Practice", *Interfaces* 35, 4 (julio-agosto de 2005): 313-322.

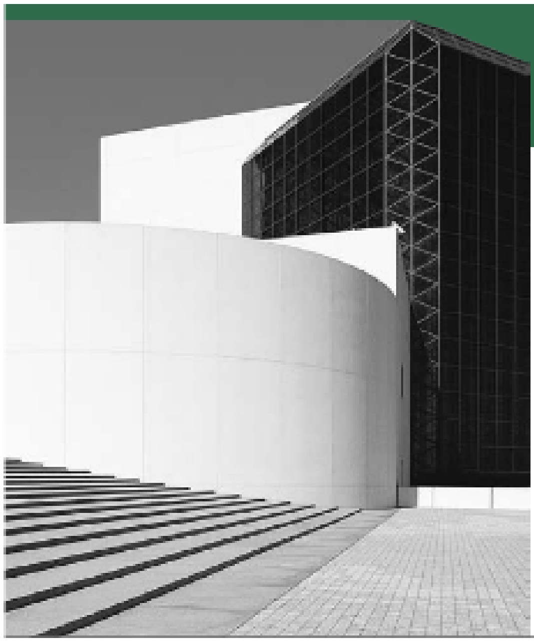
Orden, A. "LP from the '40s to the '90s", *Interfaces* 23, 5 (septiembre-octubre de 1993): 2-12.

Pazour, Jennifer A. y Lucas C. Neubert. "Routing and Scheduling of Cross-Town Drayage Operations at J.B. Hunt Transport", *Interfaces* 43, (marzo/abril de 2013): 117-129.

Romeijn, H. Edwin, Ravindra K. Ahuja, James F. Dempsey y Arvind Kumar. "A New Linear Programming Approach to Radiation Therapy Treatment Planning Problems", *Operations Research* 54, 2 (marzo-abril de 2006): 201-216.

Rubin, D. S. y H. M. Wagner. "Shadow Prices: Tips and Traps for Managers and Instructors", *Interfaces* 20, 4 (julio-agosto de 1990): 150-157.

Wendell, Richard E. "Tolerance Sensitivity and Optimality Bounds in Linear Programming", *Management Science* 50, 6 (junio de 2004): 797-803.



CAPÍTULO 8

Aplicaciones de programación lineal

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de estudiar este capítulo, el alumno será capaz de:

1. Modelar una amplia variedad de problemas de PL medianos y grandes.
2. Comprender las principales áreas de aplicación, incluidos marketing, producción, programación de la mano de obra, mezcla de combustibles y finanzas.
3. Adquirir experiencia en la solución de problemas de PL con el software Solver de Excel.

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

8.1 Introducción
8.2 Aplicaciones al marketing
8.3 Aplicaciones a la manufactura
8.4 Aplicaciones a la programación de empleados
8.5 Aplicaciones financieras
8.6 Aplicaciones a la mezcla de ingredientes
8.7 Otras aplicaciones de la programación lineal

Resumen • Autoevaluación • Problemas • Estudio de caso: Cable & Moore • Bibliografía

EN ACCIÓN El Casino Harrah's Cherokee usa programación lineal para la administración de ingresos

La identificación de los clientes que generen más ingresos suele ser muy difícil, pero el Casino Harrah's Cherokee se ha beneficiado de una manera única al colocar a los clientes en determinados segmentos de mercado, con base en sus hábitos de consumo. Harrah's alienta a los clientes de casinos a unirse a su club Recompensas Totales. En este club, se ganan puntos cada vez que el miembro juega un juego de casino o gasta dinero en un restaurante, un spa, una tienda de regalos o una instalación hotelera. La ganancia de puntos da derecho a los jugadores de recibir beneficios como salones gratuitos o con descuento, alimentos, entradas para espectáculos y otras recompensas. El seguimiento del tamaño de las apuestas, así como el número de apuestas realizadas, permite que Harrah's clasifique a los jugadores en segmentos basados en la cantidad que juegan normalmente al visitar los casinos. Los mejores generadores de ingresos son los clientes que normalmente juegan más dinero durante cada día de su estancia. Cuando alguien intenta reservar una habitación, si es un jugador con gastos bajos, podría recibir la noticia de que no hay habitaciones disponibles, mientras que un cliente con gastos altos sí podría reservar la habitación. Para promover la buena imagen de la empresa, al cliente en el segmento de gastos bajos podría ofrecérsele una habitación gratuita en un hotel cercano. Los ingresos adicionales que se obtendrían por la reservación de una habitación para un jugador con gastos altos compensaría por mucho este costo.

Se utiliza un programa lineal para maximizar los ingresos generados sujeto al número total de habitaciones disponibles y al número total de habitaciones que se asignan a cada segmento de clientes. Las variables incluyen el número de habitaciones que se ponen a disposición de cada segmento. Los precios sombra de las restricciones indican cuántos ingresos extra se generan, si se pone una habitación adicional a disposición de los diferentes segmentos. El modelo se actualiza frecuentemente con base en el número de habitaciones disponibles, el número de días restantes hasta la fecha de la reservación y otros factores. Con base en los resultados de este modelo, los esfuerzos de marketing están dirigidos a miembros muy específicos del club Recompensas Totales cuando parece que el tráfico en el hotel puede ser muy escaso en un día en particular.

Las implementaciones de la administración de ingresos suelen aumentar éstos entre 7 y 3%; sin embargo, Harrah's ha experimentado un aumento de 15% en los ingresos a partir de los sistemas de administración de ingresos en todos sus hoteles y casinos. En el Casino Harrah's Cherokee, el hotel abrió sus puertas con el sistema ya implementado por lo que no hay una base de comparación. Sin embargo, el margen de utilidad de esta propiedad específica es de 60% sobre los ingresos brutos, lo cual duplica el promedio del sector.

Fuente: Basado en Metters, Richard *et al*. "The 'Killer Application' of Revenue Management: Harrah's Cherokee Casino & Hotel", *Interfaces* 38, 3 (mayo-junio de 2008): 161-175.

Resumen

En este capítulo continuamos con nuestro estudio de los modelos de programación lineal. Se siguieron los pasos básicos para la formulación de un programa lineal en una variedad de problemas. Estas aplicaciones incluyeron marketing, programación de la producción, finanzas y mezcla de ingredientes. Se prestó atención a la comprensión del problema, la identificación del objetivo y las restricciones, la definición de las variables de decisión y el desarrollo de un modelo matemático con estos elementos.

En los próximos capítulos, se presentarán aplicaciones adicionales de la programación lineal. El problema del transporte se expondrá en el capítulo 9, junto con otras dos aplicaciones estrechamente relacionadas: el problema de asignación y el problema de transbordo.

Autoevaluación

- Antes de realizar la autoevaluación, consulte los objetivos de aprendizaje al comienzo del capítulo y las notas en los márgenes.
- Consulte las soluciones en la parte final del libro para corregir sus respuestas.
- Vuelva a estudiar las páginas que correspondan a todas las preguntas que respondió incorrectamente o al material del que no se sienta seguro.

1. La programación lineal se puede utilizar para seleccionar mezclas eficaces de medios de comunicación, asignar presupuestos fijos o limitados entre esos medios, y maximizar la exposición al público.
   a. Cierto
   b. Falso
2. El uso de PL para maximizar la exposición al público en una campaña publicitaria es un ejemplo del tipo de aplicación de PL conocida como
   a. investigación de mercados.
   b. selección de medios de comunicación.
   c. evaluación del portafolios.
   d. presupuesto de medios de comunicación.
   e. todas las anteriores.
3. ¿Cuál de los siguientes *no* representa un factor que un administrador podría considerar al emplear PL para programación de la producción:
   a. la capacidad de la mano de obra
   b. las limitaciones de espacio
   c. la demanda del producto
   d. la evaluación de riesgos
   e. los costos de inventario

4. Al aplicar PL a problemas de dieta, la función objetivo está generalmente diseñada para
   a. maximizar las utilidades de las mezclas de nutrientes.
   b. maximizar las mezclas de ingredientes.
   c. minimizar las pérdidas de producción.
   d. maximizar el número de productos a elaborar.
   e. minimizar los costos de las mezclas de nutrientes.
5. El problema de la dieta
   a. también se conoce como problema de la mezcla de alimentos en la agricultura.
   b. es un caso especial del problema de la mezcla de ingredientes.
   c. es un caso especial del problema de la mezcla.
   d. todas las anteriores.
6. La selección de inversiones específicas entre una amplia variedad de alternativas es el tipo de problema de PL conocido como
   a. el problema de la mezcla de productos.
   b. el problema de inversión del banquero.
   c. el problema de la selección del portafolios.
   d. el problema de Wall Street.
   e. ninguno de los anteriores.

Problemas

8-1 ***(Problema de producción)*** Winkler Furniture fabrica dos tipos de gabinetes diferentes: un modelo provincial francés y un modelo moderno danés. Cada gabinete producido debe pasar por tres departamentos: carpintería, pintura y acabado. La tabla siguiente contiene toda la información pertinente relacionada con los tiempos de producción por gabinete producido y la capacidad de producción para cada operación por día, además de los ingresos netos por unidad producida. La compañía tiene un contrato con un distribuidor de Indiana para producir un mínimo de 300 gabinetes de cada tipo a la semana (o 60 gabinetes por día). Al propietario Bob Winkler le gustaría determinar una mezcla de productos que maximice sus ingresos diarios.

(a) Formule esto como un problema de PL.
(b) Resuelva usando un programa de software de PL o una hoja de cálculo.

8-2 ***(Problema de decisión de inversiones)*** La firma de corretaje Heinlein and Krampf acaba de recibir la instrucción de uno de sus clientes para invertir $250,000 que obtuvo recientemente a través de la venta de unos terrenos en Ohio. El cliente tiene una buena dosis de confianza en la casa de inversión, pero también tiene sus propias ideas acerca de la distribución de los fondos a invertir. En particular, solicita que la firma seleccione acciones y bonos que considere bien valorados, pero dentro de los siguientes lineamientos:

(a) Los bonos municipales deberían constituir al menos 20% de la inversión.
(b) Al menos 40% de los fondos deben colocarse en una combinación de empresas de electrónica, compañías aeroespaciales y fabricantes de medicamentos.
(c) No más de 50% de la cantidad invertida en bonos municipales debería colocarse en acciones con alto riesgo y alto rendimiento de un hogar de retiro.

Con sujeción a estas restricciones, el objetivo del cliente es maximizar la rentabilidad proyectada sobre sus inversiones. Los analistas de Heinlein y Krampf, conscientes de estas directrices, preparan una lista de acciones y bonos de alta calidad y sus correspondientes tasas de rendimiento:

INVERSIÓN	TASA DE RENDIMIENTO PROYECTADA (%)
Bonos municipales de Los Ángeles	5.3
Electrónica Thompson, Inc.	6.8
Corporación Aerospacial Unida	4.9
Medicamentos Palmer	8.4
Hogares de retiro Happy Days	11.8

(a) Formule este problema de selección del portafolios utilizando PL.
(b) Resuelva este problema.

Datos para el problema 8-1

ESTILO DE GABINETE	CARPINTERÍA (HORAS/GABINETE)	PINTURA (HORAS/ GABINETE)	ACABADO (HORAS/ GABINETE)	INGRESOS NETOS/ GABINETE ($)
Provincial francés	3	1.5	0.75	28
Moderno danés	2	1	0.75	25
Capacidad del departamento (horas)	360	200	125	

Nota: significa que el problema puede resolverse con QM para Windows; significa que el problema puede resolverse con Excel QM, y significa que el problema puede resolverse con QM para Windows y/o Excel QM.

8-3 ***(Problema de programación del trabajo en un restaurante).*** El famoso restaurante Y. S. Chang está abierto las 24 horas del día. Los camareros y sus ayudantes se presenten a trabajar a las 3 A.M., 7 A.M., 11 A.M., 3 P.M., 7 P.M. u 11 P.M., y cada uno trabaja un turno de 8 horas. La siguiente tabla muestra el número mínimo de trabajadores necesarios durante los seis periodos en los que se divide el día. El problema de programación de Chang es determinar el número de camareros y ayudantes que deberían presentarse al trabajo al inicio de cada periodo de tiempo, con la finalidad de minimizar el personal total necesario para la operación en un día. (*Sugerencia:* Considere que X_i es igual al número de camareros y ayudantes que empiezan a trabajar en el periodo de tiempo i, donde $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$).

PERIODO	HORA	NÚMERO DE CAMAREROS Y AYUDANTES REQUERIDOS
1	3 A.M.–7 A.M.	3
2	7 A.M.–11 A.M.	12
3	11 A.M.–3 P.M.	16
4	3 P.M.–7 P.M.	9
5	7 P.M.–11 P.M.	11
6	11 P.M.–3 A.M.	4

8-4 ***(Problema de mezcla de alimentos para animales)*** El establo Battery Park ofrece alimento y alberga caballos utilizados para tirar de las carretas turísticas que circulan por las calles de la zona histórica en el muelle de Charleston. El dueño del establo, un exentrenador de caballos de carreras, reconoce la necesidad de establecer una dieta nutricional para los caballos bajo su cuidado. Al mismo tiempo, le gustaría mantener en un nivel mínimo el costo diario total de alimentación.

Las mezclas de alimentos disponibles para la dieta de los caballos son un producto de avena, un grano altamente enriquecido y un producto mineral. Cada una de estas mezclas contiene cierta cantidad de cinco ingredientes necesarios diariamente para mantener saludable a un caballo promedio. La tabla en esta página muestra estos requisitos mínimos, las unidades en cada ingrediente por libra de mezcla de alimentos y los costos de las tres mezclas.

Además, el propietario del establo está consciente de que un caballo sobrealimentado es un trabajador lento. En consecuencia, se determina que 6 libras de alimento por día es el máximo que cualquier caballo necesita para trabajar correctamente. Formule este problema y determine la mezcla óptima diaria de los tres alimentos.

8-5 La corporación Kleenglass produce un lavavajillas que tiene un poder de limpieza excelente, y utiliza menos agua que la mayoría de sus competidores, además de que es muy silencioso. Se han recibido pedidos de varias tiendas minoristas para ser entregados al final de cada uno de los próximos 3 meses, como se indica a continuación:

MES	NÚMERO DE UNIDADES
Junio	195
Julio	215
Agosto	205

Debido a la capacidad limitada, sólo se pueden hacer 200 lavavajillas cada mes en tiempo regular, y el costo es de $300 por cada unidad. Sin embargo, es posible producir un extra de 15 unidades mensuales si se usa tiempo extra, pero el costo sube a $325 por cada uno. Además, si se produce algún lavavajillas y no se vende en el mismo mes de su fabricación, hay un costo de $20 por conservar el artículo para el mes siguiente. Utilice programación lineal para determinar el número de unidades a producir cada mes en tiempo regular y en tiempo extra, con la finalidad de minimizar el costo total mientras se satisfacen las demandas.

8-6 Eddie Kelly es candidato a ser reelecto como alcalde de una pequeña ciudad de Alabama. Jessica Martínez, directora de su campaña durante esta elección, está planeando la campaña de marketing y enfrenta una dura competencia. Martínez ha seleccionado cuatro maneras de hacer publicidad: anuncios en televisión, anuncios en radio, espectaculares (vallas publicitarias) y anuncios en periódicos.

Datos para el problema 8-4

	MEZCLA DE ALIMENTOS			
REQUISITO DE DIETA (INGREDIENTES)	PRODUCTO DE AVENA (UNIDADES/LB)	GRANOS ENRIQUECIDOS (UNIDADES/LB)	PRODUCTO MINERAL (UNIDADES/LB)	REQUISITO MÍNIMO DIARIO (UNIDADES)
A	2	3	1	6
B	0.5	1	0.5	2
C	3	5	6	9
D	1	1.5	2	8
E	0.5	0.5	1.5	5
Costo/lb	$0.09	$0.14	$0.17	

En la siguiente tabla se muestran los costos de estos medios de comunicación, la audiencia alcanzada por cada tipo de anuncio y el número máximo de anuncios disponibles:

TIPO DE ANUNCIO	COSTO POR ANUNCIO	AUDIENCIA ALCANZADA/ ANUNCIO	NÚMERO MÁXIMO
TV	$800	30,000	10
Radio	$400	22,000	10
Espectaculares	$500	24,000	10
Periódicos	$100	8,000	10

Además, Martínez ha decidido que debería haber al menos seis anuncios en televisión o radio, o alguna combinación de ambos. La cantidad que se gasta en conjunto en espectaculares y periódicos no debe exceder el monto gastado en anuncios de televisión. Si bien la recaudación de fondos aún continúa, el presupuesto mensual para publicidad se ha fijado en $15,000. ¿Cuántos anuncios de cada tipo se deberían colocar para maximizar el número total de personas alcanzadas?

8-7 ***(Problema de selección de medios de comunicación)*** El director de publicidad de Diversey Paint and Supply, una cadena de cuatro tiendas minoristas en la parte norte de Chicago, está considerando dos posibilidades de medios de publicidad. Un plan consiste en una serie de anuncios de media página en el periódico dominical *Chicago Tribune*, y el otro es tiempo de publicidad en la televisión de Chicago. Las tiendas están ampliando sus líneas de herramientas tipo "hágalo usted mismo", y el director de publicidad está interesado en un nivel de exposición de, al menos, 40% en los vecindarios de la ciudad y 60% en las zonas suburbanas del noroeste.

El tiempo de visualización en televisión considerado tiene una clasificación de exposición de 5% por anuncio en los hogares de la ciudad y de 3% en los suburbios del noroeste. El periódico del domingo tiene tasas de exposición correspondientes a 4 y 3% por anuncio. El costo de un anuncio de media página en el *Chicago Tribune* es $925; un anuncio en televisión cuesta $2,000.

A Paint Diversey le gustaría seleccionar la estrategia de publicidad menos costosa que responda a los niveles de exposición deseados.

(a) Formule utilizando PL.
(b) Resuelva el problema.
(b) Resuelva el problema.

8-8 ***(Problema de arrendamiento de automóviles)*** Sundown Rent-a-Car, una agencia grande de alquiler de automóviles que opera en el Medio Oeste de Estados Unidos, está preparando una estrategia de arrendamiento durante los próximos seis meses. Sundown arrienda automóviles a un fabricante y los alquila al público sobre una base diaria. A continuación se presenta un pronóstico de la demanda de autos para Sundown en los próximos seis meses:

MES	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
Demanda	420	400	430	460	470	440

Los automóviles pueden arrendarse al fabricante, ya sea por tres, cuatro o cinco meses. Éstos son arrendados el primer día del mes y se devuelven el último día del mes. Cada seis meses, Sundown notifica al fabricante de automóviles el número de vehículos necesarios durante los próximos seis meses. El fabricante ha estipulado que, al menos, 50% de los automóviles arrendados durante un periodo de seis meses debe estar bajo un contrato de arrendamiento por cinco meses. El costo por mes en cada uno de los tres tipos de contratos de arrendamiento es de $420 para el de tres meses, $400 para el de cuatro meses y $370 para el de cinco meses.

En la actualidad, Sundown tiene 390 autos. El contrato de arrendamiento de 120 automóviles expira a finales de marzo. El contrato de otros 140 autos expira a finales de abril, y el contrato del resto de ellos expira a finales de mayo.

Utilice PL para determinar la cantidad de autos que deberían arrendarse cada mes en cada tipo de arrendamiento para minimizar el costo durante el periodo de seis meses.

8-9 La gerencia de Sundown Rent-a-Car (vea el problema 8-8) ha decidido que quizás el costo durante el periodo de seis meses no sea el costo que se debería minimizar, ya que la agencia aún puede estar comprometida a meses adicionales en algunos contratos de arrendamiento después de ese tiempo. Por ejemplo, si Sundown tuviera algunos autos entregados al comienzo del sexto mes, seguiría estando comprometido por dos meses adicionales en un contrato de arrendamiento de tres meses. Utilice PL para determinar la cantidad de autos que deberían arrendarse cada mes en cada tipo de arrendamiento, para minimizar el costo durante toda la vida de dichos arrendamientos.

8-10 ***(Problema de transporte escolar de escuela secundaria)*** El superintendente de educación del Condado de Arden, Maryland, es responsable de asignar estudiantes a las tres escuelas secundarias en su condado. Reconoce la necesidad de transportar por autobús cierto número de estudiantes, en varios sectores del condado que están a una distancia considerable de la escuela. El superintendente divide el condado en cinco sectores geográficos en su intento por establecer un plan que minimice el número total de millas recorridas por los estudiantes en autobús. También reconoce que si un estudiante vive en un determinado sector y se asigna a la escuela secundaria en ese sector, no hay necesidad de que use el autobús porque podrá caminar a la escuela. Las tres escuelas están ubicadas en los sectores B, C y E.

La siguiente tabla refleja el número de estudiantes en edad de estudiar la secundaria que viven en cada sector, así como la distancia en millas desde cada sector hasta cada escuela:

	DISTANCIA A LA ESCUELA			
SECTOR	ESCUELA EN EL SECTOR B	ESCUELA EN EL SECTOR C	ESCUELA EN EL SECTOR E	NÚMERO DE ESTUDIANTES
A	5	8	6	700
B	0	4	12	500
C	4	0	7	100
D	7	2	5	800
E	12	7	0	400
				2,500

Cada escuela secundaria tiene una capacidad de 900 estudiantes. Establezca la función objetivo y las restricciones de este problema utilizando PL, de modo que se minimice el número total de millas que los estudiantes viajan en autobús. Después, resuelva el problema.

8-11 ***(Problema de fijación de precio y estrategia de marketing)*** La tienda de pinturas y recubrimientos I. Kruger es un importante distribuidor minorista de la marca Supertrex de revestimientos de vinilo. Kruger mejorará su imagen en toda la ciudad de Miami, si puede vender más rollos de Supertrex que otras tiendas locales el próximo año. Es capaz de estimar la función de demanda de la siguiente manera:

Número de rollos de Supertrex vendidos = 20 × dólares gastados en publicidad + 6.8 × dólares gastados en muestras dentro de la tienda + 12 × dólares invertidos en el inventario de revestimiento disponible − 65,000 × porcentaje del margen de utilidad por encima del costo de un rollo al mayoreo

La tienda presupuesta un total de $17,000 para publicidad, muestras en la tienda e inventario disponible de Supertrex para el próximo año. Decide que debe gastar al menos $3,000 en publicidad; asimismo, al menos 5% de la cantidad invertida en inventario disponible debería dedicarse a las muestras en la tienda. Los márgenes de utilidad del Supertrex vistos en otras tiendas locales van desde 20 hasta 45%. Kruger decide que su margen de utilidad también debe estar en ese rango.

(a) Formule esto como un problema de PL.
(b) Resuelva el problema.
(c) ¿Qué dificultad encuentra en la respuesta?
(d) ¿Qué restricción agregaría usted?

8-12 ***(Problema de selección de comidas en la universidad)*** Kathy Roniger, dietista del campus en una pequeña universidad de Idaho, es responsable de la formulación de un plan de alimentos nutritivos para los estudiantes. Piensa que, para la cena, se deben cumplir los siguientes cinco requisitos de contenido en la comida: **1.** entre 900 y 1,500 calorías; **2.** al menos 4 miligramos de hierro; **3.** no más de 50 gramos de grasa; **4.** al menos 26 gramos de proteína, y **5.** no más de 50 gramos de carbohidratos. En un día específico, el inventario de alimentos de Roniger incluye siete elementos que pueden prepararse y servirse para la cena, con la finalidad de satisfacer esos requisitos. En la siguiente tabla se proporcionan el costo por libra de cada alimento y su contribución a los cinco requisitos nutricionales.

¿Qué combinación y cantidades de alimentos proporcionará la nutrición que Roniger requiere con el costo total mínimo?

(a) Formule esto como un problema de PL.
(b) ¿Cuál es el costo por comida?
(c) ¿Es una dieta bien balanceada?

8-13 ***(Problema de producción de alta tecnología)*** Quitmeyer Electronics Incorporated fabrica los siguientes seis dispositivos periféricos para microcomputadoras: módems internos, módems externos, tarjetas de circuitos impresos, unidades de CD, unidades de disco duro y tarjetas de expansión de memoria. Cada uno de estos productos técnicos requiere tiempo de prueba, en minutos, en tres tipos de equipo electrónico, como se muestra en la tabla de la parte inferior de esta página.

Los dos primeros dispositivos de prueba están disponibles 120 horas por semana. El tercero (dispositivo 3) requiere más mantenimiento preventivo y puede utilizarse

Datos para el problema 8-12

	TABLA DE VALORES ALIMENTICIOS Y COSTOS					
ALIMENTO	CALORÍAS/ LB	HIERRO (MG/LB)	GRASA (MG/LB)	PROTEÍNA (MG/LB)	CARBOHIDRATOS (MG/LB)	COSTO/ LB ($)
Leche	295	0.2	16	16	22	0.60
Carne molida	1216	0.2	96	81	0	2.35
Pollo	394	4.3	9	74	0	1.15
Pescado	358	3.2	0.5	83	0	2.25
Frijoles	128	3.2	0.8	7	28	0.58
Espinacas	118	14.1	1.4	14	19	1.17
Papas	279	2.2	0.5	8	63	0.33

Fuente: Pennington, Jean A. T. y Judith S. Douglass. *Bowes and Church's Food Values of Portions Commonly Used*, 18a. ed., Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2004, pp. 100-130.

Datos para el problema 8-13

	MÓDEM INTERNO	MÓDEM EXTERNO	TARJETA DE CIRCUITOS	UNIDADES DE CD	UNIDADES DE DISCO DURO	TARJETAS DE MEMORIA
Dispositivo de prueba 1	7	3	12	6	18	17
Dispositivo de prueba 2	2	5	3	2	15	17
Dispositivo de prueba 3	5	1	3	2	9	2

sólo 100 horas cada semana. El mercado de los seis componentes de computadora es muy amplio, y Quitmeyer Electronics cree que puede vender todas las unidades de cada producto que pueda fabricar. La siguiente tabla resume los ingresos y los costos de material para cada producto:

DISPOSITIVO	INGRESOS POR UNIDAD VENDIDA ($)	COSTO DE MATERIAL POR UNIDAD ($)
Módem interno	200	35
Módem externo	120	25
Tarjeta de circuitos impresos	180	40
Unidad de CD	130	45
Unidad de disco duro	430	170
Tarjeta de expansión de memoria	260	60

Además, los costos de mano de obra variables son de $15 por hora para el dispositivo de prueba 1, $12 por hora para el dispositivo de prueba 2 y $18 por hora para el dispositivo de prueba 3. Quitmeyer Electronics quiere maximizar sus utilidades.

(a) Formule el problema como un modelo de programación lineal.
(b) Resuelva el problema en computadora. ¿Cuál es la mejor combinación de productos?
(c) ¿Cuál es el valor de un minuto de tiempo adicional por semana en el dispositivo de prueba 1? ¿En el dispositivo de prueba 2? ¿En el dispositivo de prueba 3? ¿Debería Quitmeyer Electronics agregar más tiempo de los dispositivos de pruebas? Si es así, ¿en qué equipo?

8-14 ***(Problema de personal en una planta nuclear)*** South Central Utilities acaba de anunciar la apertura el 1 de agosto de su segundo generador de energía nuclear en su planta de Baton Rouge, Luisiana. Su departamento de personal desea determinar la cantidad de técnicos nucleares que deben ser contratados y capacitados para lo que resta del año.

En la actualidad, la planta emplea a 350 técnicos plenamente capacitados y proyecta las siguientes necesidades de personal:

MES	HORAS DE PERSONAL NECESARIAS
Agosto	40,000
Septiembre	45,000
Octubre	35,000
Noviembre	50,000
Diciembre	45,000

Por la ley de Luisiana, un empleado de un reactor en realidad no puede trabajar más de 130 horas al mes. (Un poco más de 1 hora al día se utiliza para hacer el registro de entrada y salida, mantenimiento de los registros y análisis médico diario por radiación). La política en South Central Utilities también dicta que los despidos no son aceptables en los meses en los cuales la planta nuclear tiene demasiado personal. Por lo tanto, si hay más empleados capacitados disponibles de los que se necesitan en cualquier mes, cada trabajador recibirá su pago total, aunque no esté obligado a trabajar las 130 horas.

La capacitación de los empleados nuevos es un procedimiento importante y costoso. Se requiere un mes de instrucción personalizada en el aula antes de que un nuevo técnico pueda trabajar solo en las instalaciones del reactor. Por lo tanto, South Central debe contratar aprendices un mes antes de que sean realmente necesarios. Cada aprendiz hace equipo con un técnico nuclear especializado y requiere 90 horas de tiempo de ese empleado, lo cual significa que hay 90 horas menos de tiempo del técnico disponibles ese mes para el trabajo real en el reactor.

Los registros del departamento de personal indican una tasa de rotación de técnicos capacitados de 5% al mes. En otras palabras, alrededor de 5% de los empleados calificados al inicio de cualquier mes renuncian a finales de ese mes. Un técnico capacitado gana un salario promedio mensual de $2,000 (sin importar el número de horas trabajadas, como se señaló anteriormente). A los aprendices se les pagan $900 durante su mes de instrucción.

(a) Formule este problema de personal utilizando PL.
(b) Resuelva el problema. ¿Cuántos aprendices deben comenzar cada mes?

8-15 ***(Problema de planeación de la producción agrícola)*** La familia de Margaret Black posee cinco parcelas de tierras de cultivo divididas en los sectores sureste, norte, noroeste, oeste y suroeste. Margaret se dedica principalmente al cultivo de trigo, alfalfa y cebada, y actualmente está preparando su plan de producción para el próximo año. Las autoridades del agua en Pennsylvania acaban de anunciar su asignación de agua al año, y la granja de Black recibirá 7,400 acres-pies de agua. Cada parcela sólo puede tolerar una cantidad específica de riego por estación de crecimiento, como se especifica en la siguiente tabla:

PARCELA	ÁREA (ACRES)	LÍMITE DE AGUA DE RIEGO (ACRES-PIES)
Sureste	2,000	3,200
Norte	2,300	3,400
Noroeste	600	800
Oeste	1,100	500
Suroeste	500	600

Cada uno de los cultivos de Margaret necesita una cantidad mínima de agua por acre, y hay un límite proyectado en las ventas de cada cultivo. A continuación se presentan los datos para cada cultivo:

CULTIVO	VENTAS MÁXIMAS	AGUA NECESARIA POR ACRE (ACRE-PIES)
Trigo	110,000 fanegas	1.6
Alfalfa	1,800 toneladas	2.9
Cebada	2,200 toneladas	3.5

La mejor estimación de Margaret es que puede vender el trigo con una utilidad neta de $2 por fanega, la alfalfa con $40 por tonelada y la cebada con $50 por tonelada. Un acre de tierra rinde un promedio de 1.5 toneladas de alfalfa y 2.2 toneladas de cebada. El rendimiento del trigo es de aproximadamente 50 fanegas por acre.

(a) Formule el plan de producción de Margaret.

(b) ¿Cuál debería ser el plan de cultivos y qué utilidad generaría?

(c) Las autoridades del agua informan a Margaret que por una tarifa especial de $6,000 este año, su granja calificará para una asignación adicional de 600 acres-pies de agua. ¿Cómo debería responder?

8-16 ***(Problema de mezcla de materiales)*** Amalgamated Products acaba de recibir un contrato para la construcción de bastidores de acero para automóviles que se van a producir en una nueva fábrica japonesa en Tennessee. El fabricante japonés de automóviles tiene normas estrictas de control de calidad para todos sus subcontratistas de componentes y ha informado a Amalgamated que cada bastidor debe tener el siguiente contenido de acero:

MATERIAL	PORCENTAJE MÍNIMO	PORCENTAJE MÁXIMO
Manganeso	2.1	2.3
Silicio	4.3	4.6
Carbono	5.05	5.35

Amalgamated mezcla lotes de ocho diferentes materiales disponibles para producir una tonelada de acero utilizado en los bastidores. La tabla en esta página detalla esos materiales.

Formule y resuelva el modelo de PL que indicará la cantidad de cada uno de los ocho materiales que deberían mezclarse en una carga de 1 tonelada de acero, de manera que Amalgamated cumpla sus requisitos y minimice los costos.

8-17 Consulte el problema 8-16. Encuentre la causa de la dificultad y recomiende cómo ajustarla. Después, resuelva el problema de nuevo.

8-18 ***(Problema de expansión de un hospital)*** El Hospital Mt. Sinaí en Nueva Orleans tiene una gran instalación privada, con 600 camas, equipada con laboratorios, quirófanos y equipo de rayos X. Con la finalidad de aumentar sus ingresos, la gerencia de Mt. Sinaí ha decidido agregar 90 camas en una porción de terreno adyacente utilizada actualmente para el estacionamiento del personal. Los gerentes consideran que los laboratorios, los quirófanos y el departamento de rayos X no están siendo plenamente utilizados en la actualidad y no tienen que ampliarse para manejar pacientes adicionales. Sin embargo, la adición de 90 camas implica decidir cuántas camas deberían asignarse al personal médico para los pacientes médicos y cuántas al personal quirúrgico para pacientes quirúrgicos.

Los departamentos de contabilidad y registros médicos del hospital han facilitado la siguiente información pertinente. La estancia hospitalaria promedio de un paciente médico es de 8 días, y el paciente médico promedio genera $2,280 en ingresos. El paciente quirúrgico promedio está en el hospital 5 días y recibe una factura de $1,515. El laboratorio es capaz de manejar 15,000 pruebas al año más de lo que estaba manejando. El paciente médico promedio requiere 3.1 pruebas de laboratorio y el paciente quirúrgico promedio tiene 2.6 pruebas de laboratorio. Además, el paciente médico promedio utiliza una vez los rayos X, mientras que el paciente quirúrgico promedio los usa dos veces. Si el hospital se amplía en 90 camas, el departamento de rayos X podría manejar hasta 7,000 radiografías sin costo adicional significativo. Por último, la gerencia estima que podrían realizarse hasta 2,800 operaciones adicionales en las instalaciones del quirófano existente. Los pacientes médicos, por supuesto, no requieren cirugía, mientras que a cada paciente quirúrgico en general se le realiza una sola cirugía.

Formule este problema con el propósito de determinar cuántas camas médicas y cuántas camas quirúrgicas deberían agregarse para maximizar los ingresos. Suponga que el hospital está abierto los 365 días del año. Después, resuelva el problema.

8-19 Prepare un informe escrito para el director general del Hospital Mt. Sinaí del problema 8-18 sobre la ampliación del hospital. Redondee sus respuestas al entero más cercano. El formato de presentación de los resultados es importante. El director general es una persona ocupada y quiere ser capaz de encontrar la solución óptima

Datos para el problema 8-16

MATERIAL DISPONIBLE	MANGANESO (%)	SILICIO (%)	CARBONO (%)	LIBRAS DISPONIBLES	COSTO POR LIBRA ($)
Aleación 1	70.0	15.0	3.0	Sin límite	0.12
Aleación 2	55.0	30.0	1.0	300	0.13
Aleación 3	12.0	26.0	0	Sin límite	0.15
Hierro 1	1.0	10.0	3.0	Sin límite	0.09
Hierro 2	5.0	2.5	0	Sin límite	0.07
Carbono 1	0	24.0	18.0	50	0.10
Carbono 2	0	25.0	20.0	200	0.12
Carbono 3	0	23.0	25.0	100	0.09

rápidamente en su informe. Cubra todas las áreas indicadas en las secciones siguientes, pero no mencione ninguna variable o los precios sombra.

(a) ¿Cuál es el ingreso máximo por año, cuántos pacientes médicos/año hay y cuál es el número de pacientes quirúrgicos/año? ¿Cuántas camas médicas y cuántas camas quirúrgicas deberían agregarse de la adición de 90 camas?

(b) ¿Hay camas vacías con esta solución óptima? Si es así, ¿cuántas camas vacías son? Comente el efecto de la adquisición de más camas si es necesario.

(c) ¿Los laboratorios se utilizan a toda su capacidad? ¿Es posible realizar más pruebas de laboratorio/año? Si es así, ¿cuántas más? Comente el efecto de la adquisición de más espacio en el laboratorio, si es necesario.

(d) ¿La instalación de rayos X se utiliza al máximo? ¿Es posible hacer más radiografías/año? Si es así, ¿cuántas más? Comente el efecto de la adquisición de más instalaciones de rayos X, si es necesario.

(e) ¿El quirófano se utiliza a toda su capacidad? ¿Es posible hacer más operaciones/año? Si es así, ¿cuántas más? Comente el efecto de la adquisición de más instalaciones de quirófano, si es necesario.

8-20 En el problema de mezclas de la compañía Low Knock Oil, se supuso que un barril de crudo se convertiría en un barril de gasolina como producto final. Al procesar un barril de crudo, un rendimiento de gasolina típico es de aproximadamente 0.46 barriles, aunque podría ser mayor o menor, dependiendo del crudo particular y el procesamiento utilizado. Sin embargo, otros productos como el diesel, la turbosina, el combustóleo doméstico y el asfalto también provienen de ese mismo barril. Suponiendo que sólo 46% del crudo se convierte en gasolina, modifique el ejemplo de programación lineal de Low Knock Oil para tomar en cuenta esto. Resuelva el problema de PL resultante usando cualquier software.

8-21 Una fábrica de papel produce rollos de papel que tienen 10 pulgadas de ancho y 100 pies de largo. Estos rollos se utilizan para hacer rollos más angostos que se usan en las cajas registradoras, cajeros automáticos (ATM) y otros dispositivos. Las anchuras más angostas (2, 2.5 y 3 pulgadas) necesarias para estos dispositivos se obtienen mediante la reducción de los rodillos de 10 pulgadas utilizando patrones de corte especificados de antemano. El patrón #1 cortará el rollo de 10 pulgadas en cuatro rollos de 2.5 pulgadas de ancho cada uno. El patrón #2 generará tres rollos de 3 pulgadas de ancho cada uno (dejando 1 pulgada de desperdicio en un extremo). El patrón #3 resultará en un rollo de 3 pulgadas y dos rollos de 3.5 pulgadas de ancho. El patrón #4 generará un rollo de 2.5 pulgadas, otro de 3 pulgadas y uno más de 3.5 pulgadas de ancho (dejando 1 pulgada de desperdicio). El patrón #5 resultará en 1 rollo de 2.5 pulgadas y dos rollos de 3.5 pulgadas de ancho (dejando 0.5 pulgadas de desperdicio en un extremo). Se ha recibido un pedido de 2,000 rollos de 2.5 pulgadas, 4,000 rollos de 3 pulgadas y 5,000 rollos de 3.5 pulgadas. ¿Cuántos rollos se deberían cortar con cada patrón, si la empresa quiere minimizar la cantidad total de rollos de 10 pulgadas a utilizar? ¿Cuántos rollos se deben cortar con cada patrón, si la empresa quiere minimizar el desperdicio total?

8-22 ***(Problema de selección del portafolios)*** Daniel Grady es el asesor financiero de varios atletas profesionales. Un análisis de los objetivos a largo plazo de muchos de ellos resultó en una recomendación para la compra de acciones con algunos de sus ingresos que se reservan para inversiones. Se han identificado cinco acciones con expectativas muy favorables para el rendimiento futuro. Aunque el rendimiento esperado es importante en estas inversiones, el riesgo, medido por el valor beta de la acción, también es importante. (Un valor beta alto indica que la acción tiene un riesgo relativamente alto). A continuación se muestra el rendimiento esperado y las betas de cinco acciones:

VALORES	1	2	3	4	5
Rendimiento esperado (%)	11.0	9.0	6.5	15.0	13.0
Beta	1.20	0.85	0.55	1.40	1.25

A Daniel le gustaría minimizar la beta del portafolios de acciones (calculando el promedio ponderada de los montos invertidos en las diferentes acciones) y mantener un rendimiento esperado de al menos 11%. Dado que las condiciones futuras pueden cambiar, Daniel ha decidido que no más de 35% del portafolios debería invertirse en una sola acción.

(a) Formule esto como un programa lineal. (*Sugerencia:* Defina las variables como la proporción de la inversión total colocada en cada acción. Incluya una restricción que limite la suma de estas variables a 1).

(b) Resuelva este problema. ¿Cuáles son el rendimiento esperado y la beta de este portafolio?

8-23 ***(Problema de combustible en una aerolínea)*** Coast-to-Coast Airlines está investigando la posibilidad de reducir el costo de sus compras de combustible al aprovechar los menores costos de combustible en ciertas ciudades. Dado que estas compras representan una parte sustancial de los gastos para una compañía aérea, es importante controlarlas cuidadosamente. Sin embargo, el combustible agrega peso a un avión y, en consecuencia, el exceso de combustible aumenta el costo de ir de una ciudad a otra. En la evaluación de un vuelo específico, un avión despega en Atlanta, vuela a Los Ángeles, de ahí a Houston, luego a Nueva Orleans y finalmente de regreso a Atlanta. Cuando el avión llega a Atlanta, se dice que el vuelo ha concluido y, después, empieza de nuevo. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta el combustible a bordo cuando el avión llega a Atlanta y después comienza otra vez. A lo largo de cada tramo de esta ruta, hay una cantidad máxima y una mínima de combustible que puede

Datos para el problema 8-23

TRAMO	COMBUSTIBLE MÍNIMO REQUERIDO (1,000 GAL.)	COMBUSTIBLE MÁXIMO PERMITIDO (1,000 GAL.)	CONSUMO DE COMBUSTIBLE ORDINARIO (1,000 GAL.)	PRECIO DE COMBUSTIBLE POR GALÓN
Atlanta–Los Ángeles	24	36	12	$4.15
Los Ángeles–Houston	15	23	7	$4.25
Houston–Nueva Orleans	9	17	3	$4.10
Nueva Orleans–Atlanta	11	20	5	$4.18

llevarse. En la tabla anterior, se proporcionan estos datos y alguna información adicional.

El consumo regular de combustible se basa en un avión que transporta la cantidad mínima de combustible. Si lleva más que eso, la cantidad de combustible consumido es mayor. En concreto, por cada 1,000 galones de combustible por encima del mínimo, 5% (o 50 galones por 1,000 galones adicionales de combustible) se pierde debido al consumo excesivo de combustible. Por ejemplo, si el avión llevaba 25,000 galones al despegar de Atlanta, el combustible consumido en esta ruta sería de 12 + 0.05 = 12.05 miles de galones. Si hubiera 26,000 galones a bordo, el combustible consumido se incrementaría en otros 0.05 miles, para un total de 12,100 galones.

Formule esto como un problema de programación lineal para minimizar el costo. ¿Cuántos galones deberían comprarse en cada ciudad? ¿Cuál es el costo total de éste?

Estudio de caso

Cable & Moore

Debido a que la empresa se expandirá hacia varios mercados nuevos en los próximos meses, Cable & Moore anticipa un gran aumento en los ingresos por ventas. El futuro parece brillante para este proveedor de servicios de televisión, telefonía e Internet. Sin embargo, la gerencia de Cable & Moore está muy consciente de la importancia del servicio al cliente en mercados nuevos. Si el público tiene problemas con el nuevo servicio y no los puede resolver con rapidez y eficacia, la demanda se erosionará rápidamente y podría tardar años en recuperarse de la mala publicidad. Por lo tanto, la gerencia es firme en demandar suficientes representantes de servicio al cliente, bien capacitados, para manejar las llamadas de los clientes nuevos y potenciales.

Con base en su experiencia en otros mercados, se proyectó el número de llamadas de servicio al cliente. De acuerdo con la duración promedio de las llamadas, en la siguiente tabla se muestra el número de horas de servicio al cliente, proyectadas de abril a agosto.

MES	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
Horas necesarias	21,600	24,600	27,200	28,200	29,700

Por su experiencia, la gerencia sabe que la capacitación de un nuevo empleado es esencial. Cada aprendiz ingresa a un programa de capacitación de 1 mes, y se le asigna a un empleado experto durante un mes entero. Por lo general, un empleado experto trabaja 160 horas al mes. Sin embargo, cuando se le asigna un empleado nuevo para capacitarlo, sus horas de trabajo productivo se reducen a 80 horas mensuales.

Durante el periodo de capacitación, el aprendiz recibe un pago de $2,000 mensuales. Al final de ese tiempo, el salario mensual aumenta al salario estándar para un representante de servicio al cliente regular, que es de $3,000 mensuales. En el pasado, la compañía perdió mensualmente alrededor de 5% de sus representantes de servicio al cliente capacitados debido al desgaste. Aunque la compañía está tratando de mejorar esto, se prevé que durante los próximos meses esta tendencia continuará. Habrá 150 empleados capacitados a principios de abril. La gerencia de la empresa quisiera desarrollar un programa de contratación de nuevos empleados, con la finalidad de tener suficientes representantes de servicio al cliente para cubrir la demanda; pero esto se tiene que hacer al menor costo posible.

Preguntas para análisis

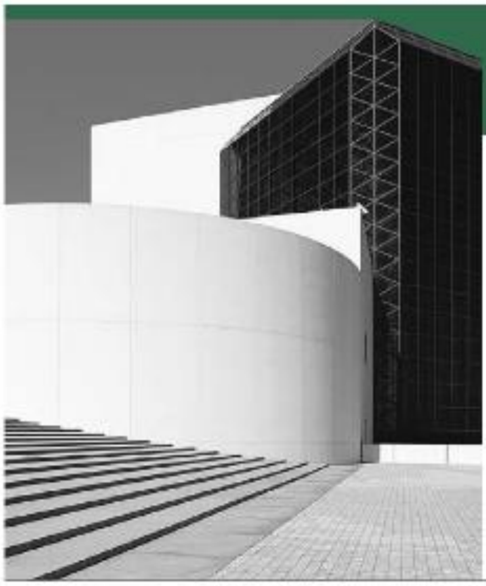
1. Desarrolle un programa para la contratación de empleados nuevos. ¿Cuál es el costo total de este programa?
2. Comente las limitaciones que existen para esta solución.
3. ¿Cómo cambiaría el programa si la tasa de deserción pudiera reducirse de 5 a 3% mensual? ¿Cuál sería el impacto en el costo?

Estudio de caso de Internet

Visite nuestra página en Internet, **www.pearsonenespañol.com/render**, y consulte este estudio de caso adicional: **Chase Manhattan Bank**. El caso trata sobre la programación de personal en un banco.

Bibliografía

Vea la bibliografía al final del capítulo 7.



CAPÍTULO 9

Modelos de transporte, asignación y redes

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de estudiar este capítulo, el alumno será capaz de:

1. Estructurar problemas de PL para los modelos de transporte, transbordo y asignación.
2. Resolver problemas de localización de instalaciones y otras aplicaciones con modelos de transporte.
3. Utilizar PL para modelar problemas de la ruta más corta y del flujo máximo.
4. Resolver problemas de árboles de expansión mínima.

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

9.1 Introducción
9.2 El problema de transporte
9.3 El problema de asignación
9.4 El problema de transbordo
9.5 Problema del flujo máximo
9.6 Problema de la ruta más corta
9.7 Problema del árbol de expansión mínima

Resumen • Glosario • Problemas resueltos • Autoevaluación • Preguntas para análisis y problemas • Estudio de caso: Andrew-Carter, Inc. • Estudio de caso: Northeastern Airlines • Estudio de caso: Problemas de tránsito en la Southwestern University • Estudios de caso en Internet • Bibliografía

Apéndice 9.1: Uso de QM para Windows

Glosario

Análisis de localización de instalaciones Una aplicación del método de transporte para ayudar a una empresa a decidir dónde debe ubicar una nueva fábrica, un nuevo almacén u otra instalación.

Arco Una línea en una red que puede representar un camino o una ruta. Un arco o una rama se utilizan para conectar los nodos de una red.

Destino Una ubicación de demanda en un problema de transporte.

Destino final El nodo final o el nodo destino en una red.

Fuente Un origen o una ubicación de oferta en un problema de transporte. Además, el origen o nodo de inicio en una red de flujo máximo.

Nodo Un punto en una red, con frecuencia se representa mediante un círculo, y está al principio o al final de un arco.

Problema de asignación Un tipo especial de problema de redes donde los costos se minimizan, mientras se asignan personas a trabajos (u otras tareas). La manera establecer estas relaciones es uno a uno.

Problema de la ruta más corta Un problema de redes con el objetivo de encontrar la distancia más corta desde una ubicación hasta otra pasando por nodos intermedios.

Problema de transporte Un caso específico de PL relacionado con la programación de envíos desde fuentes hasta destinos, de modo que se minimicen los costos de transporte totales.

Problema del árbol de expansión mínima Un problema de redes con el objetivo de minimizar la distancia o el costo total requeridos para conectar todos los nodos en una red.

Problema del flujo máximo Un problema de redes con el objetivo de determinar la cantidad máxima que puede fluir desde el origen o la fuente hasta el destino final.

Problemas resueltos

Problema resuelto 9-1

Don Yale, presidente de la compañía Hardrock Concrete, tiene plantas en tres localidades y en la actualidad está trabajando en tres grandes proyectos de construcción, ubicados en diferentes sitios. En la tabla adjunta, se proporcionan el costo de envío por camión cargado de concreto, la capacidad de la planta y los requisitos del proyecto.

Formule el problema de transporte de Hardrock como un problema de programación lineal y resuélvalo usando software.

DE \ A	PROYECTO *A*	PROYECTO *B*	PROYECTO *C*	CAPACIDADES DE PLANTA
PLANTA 1	$10	$4	$11	70
PLANTA 2	$12	$5	$8	50
PLANTA 3	$9	$7	$6	30
REQUISITOS DEL PROYECTO	40	50	60	150

Solución

Defina las variables como

$$X_{ij} = \text{número de unidades enviadas de la planta } i \text{ al proyecto } j$$

donde

$i = 1, 2, 3$ con $1 =$ planta 1, $2 =$ planta 2 y $3 =$ planta 3

$j = 1, 2, 3$ con $1 =$ proyecto A, $2 =$ proyecto B y $3 =$ proyecto C

La formulación del problema de programación lineal es

$$\text{Minimizar el costo total} = 10X_{11} + 4X_{12} + 11X_{13} + 12X_{21} + 5X_{22} + 8X_{23} + 9X_{31} + 7X_{32} + 6X_{33}$$

sujeto a

$X_{11} + X_{21} + X_{31} = 40$ Requisitos del proyecto A

$X_{12} + X_{22} + X_{32} = 50$ Requisitos del proyecto B

$X_{13} + X_{23} + X_{33} = 60$ Requisitos del proyecto C

$X_{11} + X_{12} + X_{13} \leq 70$ Capacidad de la planta 1

$X_{21} + X_{22} + X_{23} \leq 50$ Capacidad de la planta 2

$X_{31} + X_{32} + X_{33} \leq 30$ Capacidad de la planta 3

Todas las variables ≥ 0

La salida de computadora que se encuentra mediante el uso de Excel QM presenta la solución óptima. De la planta 1 se envían 20 unidades al proyecto A y 50 unidades al proyecto B. De la planta 2 se envían 50 unidades al proyecto C. De la planta 3 se envían 20 unidades al proyecto A y 10 unidades al proyecto B. El costo total de esta solución es $1,040. Aunque no se muestran en la salida de computadora, hay soluciones óptimas alternativas para este problema.

Programa para el problema resuelto 9-1

Solved Problem 9-1

Transportation

Enter the transportation data in the shaded area. Then go to the DATA Tab on the ribbon, click on Solver in the Data Analysis Group and then click SOLVE. If SOLVER is not on the Data Tab then please see the Help file (Solver) for instructions.

Data

COSTS	Project 1	Project 2	Project 3	Supply
Plant 1	10	4	11	70
Plant 2	12	5	8	50
Plant 3	9	7	6	30
Demand	40	50	60	150 \ 150

Shipments

Shipments	Project 1	Project 2	Project 3	Row Total
Plant 1	20	50		70
Plant 2			50	50
Plant 3	20		10	30
Column Total	40	50	60	150 \ 150

Total Cost	1040

Problema resuelto 9-2

Prentice Hall, Inc., una empresa editorial con sede en Nueva Jersey, quiere asignar a tres graduados universitarios que fueron contratados recientemente, Jones, Smith y Wilson a los distritos de ventas regionales en Omaha, Dallas y Miami. Pero la empresa también tiene una vacante en Nueva York y enviaría a uno de los tres contratados, si esto fuera más económico que un movimiento a Omaha, Dallas o Miami. Costaría $1,000 reubicar Jones a Nueva York, $800 reubicar a Smith ahí y $1,500 mudar a Wilson. ¿Cuál es la asignación óptima de personal a las oficinas?

OFICINA / CONTRATADO	OMAHA	MIAMI	DALLAS
JONES	$800	$1,100	$1,200
SMITH	$500	$1,600	$1,300
WILSON	$500	$1,000	$2,300

Debido a que hay tres nuevas contrataciones y cuatro oficinas si se incluye Nueva York, el problema no está equilibrado. Es imposible que las cuatro ciudades tengan una persona asignada (es decir, no existe una solución factible). Por lo tanto, se agrega una fuente ficticia (contratación nueva), y los costos son cero para este elemento ficticio. Por consiguiente, las variables podrían omitirse de la función objetivo, pero se incluyen por exhaustividad del procedimiento.

Defina las variables como

$X_{ij} = 1$ si el nuevo contratado i se asigna a la oficina j

donde

$i = 1, 2, 3, 4$ con $1 =$ Jones, $2 =$ Smith, $3 =$ Wilson y $4 =$ contratado ficticio

$j = 1, 2, 3, 4$ con $1 =$ Omaha, $2 =$ Miami, $3 =$ Dallas y $4 =$ Nueva York

La formulación del problema de programación lineal es

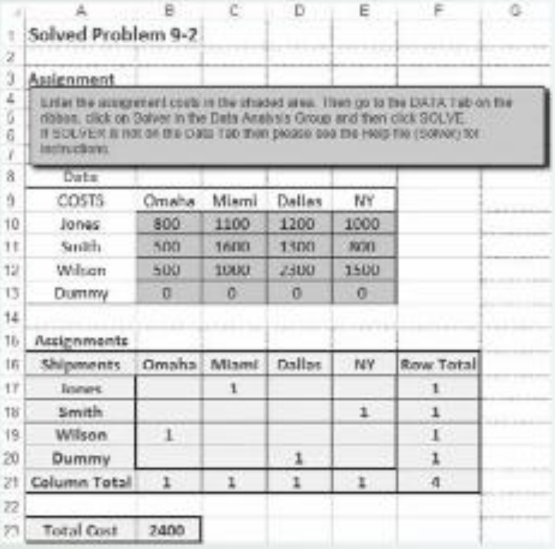
$$\text{Minimizar el costo total} = 800X_{11} + 1100X_{12} + 1200X_{13} + 1000X_{14} + 500X_{21} + 1600X_{22} + 1300X_{23} + 800X_{24} + 500X_{31} + 1000X_{32} + 2300X_{33} + 1500X_{34} + 0X_{41} + 0X_{42} + 0X_{43} + 0X_{44}$$

sujeto a

$$\begin{aligned}
X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} &\leq 1 \quad \text{Oficina de Omaha}\\
X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} &\leq 1 \quad \text{Oficina de Miami}\\
X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} &\leq 1 \quad \text{Oficina de Dallas}\\
X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} &\leq 1 \quad \text{Oficina de Nueva York}\\
X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} &= 1 \quad \text{Jones}\\
X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} &= 1 \quad \text{Smith}\\
X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} &= 1 \quad \text{Wilson}\\
X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} &= 1 \quad \text{Contratado ficticio}\\
\text{Todas las variables} &\geq 0
\end{aligned}$$

A continuación, se muestra la solución óptima que se encontró con Excel QM: Jones se asigna a Miami ($X_{12} = 1$), Smith se asigna a Nueva York ($X_{24} = 1$), Wilson se asigna a Omaha ($X_{31} = 1$) y nadie (ficticio) se asigna a Dallas ($X_{43} = 1$). El costo total es de $2,400.

Programa para el problema resuelto 9-2


Solved Problem 9-2

Assignment

Data

COSTS	Omaha	Miami	Dallas	NY
Jones	800	1100	1200	1000
Smith	500	1600	1300	800
Wilson	500	1000	2300	1500
Dummy	0	0	0	0

Assignments

Shipments	Omaha	Miami	Dallas	NY	Row Total
Jones		1			1
Smith				1	1
Wilson	1				1
Dummy			1		1
Column Total	1	1	1	1	4

Total Cost	2400

Autoevaluación

- Antes de realizar la autoevaluación, consulte los objetivos de aprendizaje al comienzo del capítulo, las notas en los márgenes y el glosario al final del capítulo.
- Consulte las soluciones en la parte final del libro para corregir sus respuestas.
- Vuelva a estudiar las páginas que correspondan a todas las preguntas que respondió incorrectamente o al material del que no se sienta seguro.

1. Si un problema de transporte tiene 4 fuentes y 5 destinos, su problema de programación lineal tendrá
   a. 4 variables y 5 restricciones.
   b. 5 variables y 4 restricciones.
   c. 9 variables y 20 restricciones.
   d. 20 variables y 9 restricciones.
2. Un problema de asignación puede verse como un problema de transporte con
   a. un costo de $1 para todas las rutas de envío.
   b. todas las ofertas y demandas iguales a 1.
   c. sólo restricciones de demanda.
   d. sólo restricciones de oferta.

3. Una empresa está evaluando la apertura de un nuevo centro de producción, y tiene tres lugares bajo consideración. Para este problema de localización de instalaciones, ¿cuántos modelos de transporte se deben desarrollar y resolver?
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
4. Se asignarán cuatro grúas a cinco trabajos de construcción. Uno de los trabajos se retrasará hasta que una de las grúas esté disponible después de terminar la primera tarea. Se usará una modelo de asignación. Para permitir que el software especializado encuentre una solución a este problema,
   a. no debe hacerse nada en especial con el problema.
   b. debe usarse una grúa ficticia en el modelo.
   c. debe usarse un trabajo ficticio en el modelo.
   d. deben usarse un trabajo y una grúa ficticios en el modelo.
5. ¿Cuál modelo de red se utiliza para determinar la forma de conectar todos los puntos de una red mientras se minimiza la distancia total entre ellos?
   a. El modelo de asignación.
   b. El modelo del flujo máximo.
   c. El modelo de la ruta más corta.
   d. El modelo del árbol de expansión mínima.
6. En un modelo típico de la ruta más corta, el objetivo es
   a. minimizar el número de nodos en la ruta.
   b. minimizar el tiempo o la distancia para ir de un punto a otro.
   c. minimizar el número de arcos en la ruta.
   d. viajar a través de todos los nodos de la mejor manera posible.
7. Una gran ciudad está planeando unos Juegos Olímpicos, que se realizarán dentro de unos pocos años. Se evalúa el sistema de transporte para determinar la expansión que se requiere para manejar el gran número de visitantes a los juegos. ¿Cuál de los siguientes modelos es más probable que sea útil para que los planeadores de la ciudad determinen la capacidad del sistema actual?
   a. El modelo de transporte.
   b. El modelo del flujo máximo.
   c. El modelo de la ruta más corta.
   d. El modelo del árbol de expansión mínima.
8. El centro de cómputo de una gran universidad está instalando cables de fibra óptica hacia 15 edificios en el campus. ¿Cuál de los siguientes modelos podría utilizarse con la finalidad de determinar la menor cantidad de cable necesario para conectar todos los edificios?
   a. El modelo de transporte.
   b. El modelo del flujo máximo.
   c. El modelo de la ruta más corta.
   d. El modelo del árbol de expansión mínima.

Preguntas para análisis y problemas

Preguntas para análisis

9-1 ¿Es el modelo de transporte un ejemplo de la toma de decisiones en condiciones de certidumbre o de la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre? ¿Por qué?

9-2 Explique cómo se determina el número de variables y de restricciones que habría en un problema de transporte tan sólo con conocer el número de fuentes y el número de destinos.

9-3 Explique qué significa que un modelo de asignación esté equilibrado.

9-4 Explique el propósito de las restricciones de transbordo en el problema de programación lineal para un modelo de transbordo.

9-5 Describa un problema que pueda resolverse mediante el modelo de la ruta más corta.

9-6 Explique por qué el modelo del flujo máximo puede verse como un modelo de transbordo.

Problemas*

9-7 La gerencia de la corporación Executive Furniture decidió ampliar la capacidad de producción en su fábrica de Des Moines y recortar la producción en sus otras plantas. También reconoce un mercado cambiante para sus escritorios y ha modificado los requisitos en sus tres almacenes.

La tabla que se muestra al final de la página contiene los requisitos de cada uno de los almacenes, las capacidades de cada una de las fábricas y el costo unitario de envío desde cada fábrica hasta cada almacén. Encuentre la manera de satisfacer los requisitos, dada la capacidad de cada fábrica, y al menor costo posible.

9-8 La compañía Hardrock Concrete tiene plantas en tres ubicaciones y en la actualidad está trabajando en tres grandes proyectos de construcción, cada uno situado en un sitio diferente. En la siguiente tabla, se proporcionan el costo

DE \ A	ALBUQUERQUE	BOSTON	CLEVELAND	CAPACIDAD
DES MOINES	$5	$4	$3	300
EVANSVILLE	8	4	3	150
FORT LAUDERDALE	9	7	5	250
REQUISITOS	200	200	300	

Nota: significa que el problema puede resolverse con QM para Windows; significa que el problema puede resolverse con Excel QM, y significa que el problema puede resolverse con QM para Windows y/o Excel QM.

de envío por camión de concreto, la capacidad de la planta y las necesidades diarias de los proyectos.

Formule esto como un problema de programación lineal para determinar la manera de satisfacer las necesidades al menor costo posible. Resuelva usando cualquier software.

9-9 El propietario de Hardrock Concrete ha decidido aumentar la capacidad en su planta más pequeña (vea el problema 9-9). En vez de producir 30 cargas de concreto al día en la planta 3, la capacidad de esa planta se duplicará a 60 cargas. ¿Esto cambia el programa desarrollado previamente?

9-10 La compañía Saussy Lumber envía pisos de pino a tres tiendas de suministros para construcción desde sus aserraderos en Pineville, Oak Ridge y Mapletown. Determine el mejor programa de envíos para los datos dados en la tabla correspondiente a este problema.

9-11 La compañía ferrocarrilera Krampf Lines se especializa en el manejo de carbón. El viernes 13 de abril, Krampf tenía vagones vacíos en las siguientes ciudades, en las cantidades indicadas:

CIUDAD	OFERTA DE VAGONES
Morgantown	35
Youngstown	60
Pittsburgh	25

Para el lunes 16 de abril, las siguientes ciudades necesitarán vagones con carbón de la siguiente manera:

CIUDAD	DEMANDA DE VAGONES
Coal Valley	30
Coaltown	45
Coal Junction	25
Coalsburg	20

Mediante el uso de una tabla de distancias por ferrocarril de ciudad a ciudad, el despachador construyó una tabla en millas para las ciudades anteriores. El resultado se muestra en la tabla correspondiente a este problema. Minimice las millas totales que deberán recorrer los vagones hasta sus nuevas ubicaciones; calcule el mejor envío de vagones de carbón.

9-12 Un fabricante produce aparatos de aire acondicionado para habitación en sus plantas de Houston, Phoenix y Memphis. Éstos se envían a los distribuidores regionales de Dallas, Atlanta y Denver. Los costos de envío varían, y la compañía desearía encontrar la manera de satisfacer las demandas en cada uno de los centros de distribución, al menor costo posible. Dallas necesita recibir 800 aparatos al mes, Atlanta requiere 600 y Denver necesita 200. Houston dispone de 850 aparatos cada mes, Phoenix de

Tabla para el problema 9-8

DE \ A	PROYECTO A	PROYECTO B	PROYECTO C	CAPACIDAD
PLANTA 1	$10	$4	$11	70
PLANTA 2	12	5	8	50
PLANTA 3	9	7	6	30
REQUISITOS	40	50	60	

Tabla para el problema 9-10

DE \ A	TIENDA DE SUMINISTROS 1	TIENDA DE SUMINISTROS 2	TIENDA DE SUMINISTROS 3	CAPACIDAD DEL ASERRADERO (TONELADAS)
PINEVILLE	$3	$3	$2	25
OAK RIDGE	4	2	3	40
MAPLETOWN	3	2	3	30
DEMANDA DE LA TIENDA DE SUMINISTROS	30	30	35	

Tabla para el problema 9-11

DE \ A	COAL VALLEY	COALTOWN	COAL JUNCTION	COALSBURG
MORGANTOWN	50	30	60	70
YOUNGSTOWN	20	80	10	90
PITTSBURGH	100	40	80	30

650 y Memphis de 300. El costo de envío por unidad de Houston a Dallas es de $8, a Atlanta es de $12 y a Denver es de $10. El costo por unidad de Phoenix a Dallas es de $10, a Atlanta es de $14 y a Denver es de $9. El costo por unidad de Memphis a Dallas es de $11, a Atlanta es de $8 y a Denver es de $12. ¿Cuántas unidades se deberían enviar de cada planta a cada centro de distribución regional? ¿Cuál es el costo total de esto?

9-13 Finnish Furniture fabrica mesas en instalaciones ubicadas en tres ciudades: Reno, Denver y Pittsburgh. Después, las mesas se envían a tres tiendas ubicadas en Phoenix, Cleveland y Chicago. La gerencia desea desarrollar un programa de distribución que satisfaga las demandas al menor costo posible. El costo de envío por unidad desde cada una de las fuentes hasta cada uno de los destinos se muestra en la siguiente tabla:

DE \ A	PHOENIX	CLEVELAND	CHICAGO
RENO	10	16	19
DENVER	12	14	13
PITTSBURGH	18	12	12

Las ofertas disponibles son 120 unidades en Reno, 200 en Denver y 160 en Pittsburgh. Phoenix tiene una demanda de 140 unidades, Cleveland de 160 unidades y Chicago de 180 unidades. ¿Cuántas unidades deberían enviarse desde cada instalación de manufactura hasta cada una de las tiendas minoristas para minimizar el costo? ¿Cuál es el costo total?

9-14 El estado de Missouri tiene tres principales compañías generadoras de electricidad (*A*, *B* y *C*). Durante los meses de mayor demanda, la Autoridad Eléctrica de Missouri autoriza que estas empresas unan sus excesos de oferta y los distribuyan a pequeñas empresas independientes que no tienen generadores suficientemente grandes como para manejar la demanda. El exceso de oferta se distribuye con base en el costo por kilowatt-hora transmitido. La siguiente tabla muestra la demanda y la oferta en millones de kilowatts-hora y el costo por kilowatt-hora transmitido a cuatro pequeñas empresas eléctricas en las ciudades *W*, *X*, *Y* y *Z*:

DE \ A	*W*	*X*	*Y*	*Z*	EXCESO DE OFERTA
A	12¢	4¢	9¢	5¢	55
B	8¢	1¢	6¢	6¢	45
C	1¢	12¢	4¢	7¢	30
DEMANDA DE ENERGÍA NO SATISFECHA	40	20	50	20	

Encuentre el sistema de distribución de menor costo.

9-15 Los tres bancos de sangre en el Condado de Franklin se coordinan a través de una oficina central que facilita la entrega de sangre a cuatro hospitales de la región. El costo por enviar un contenedor estándar de sangre desde cada banco hasta cada hospital se indica en la tabla correspondiente a este problema. También se da el número quincenal de contenedores disponibles en cada banco y el número quincenal de contenedores de sangre necesarios en cada hospital. ¿Cuántos envíos deberían hacerse cada dos semanas desde cada banco de sangre hasta cada hospital para minimizar los costos totales de envío?

9-16 La compañía de bienes raíces B. Hall ha identificado cuatro pequeños edificios de apartamentos en los cuales le gustaría invertir. La señora Hall se ha acercado a

Tabla para el problema 9-15

DE \ A	HOSPITAL 1	HOSPITAL 2	HOSPITAL 3	HOSPITAL 4	OFERTA
BANCO 1	$8	$9	$11	$16	50
BANCO 2	12	7	5	8	80
BANCO 3	14	10	6	7	120
DEMANDA	90	70	40	50	

Tabla para el problema 9-16

	PROPIEDAD (TASAS DE INTERÉS) (%)				
COMPAÑÍA DE AHORRO Y CRÉDITO	HILL ST.	BANKS ST.	PARK AVE.	DRURY LANE	LÍNEA DE CRÉDITO MÁXIMA ($)
FIRST HOMESTEAD	8	8	10	11	80,000
COMMONWEALTH	9	10	12	10	100,000
WASHINGTON FEDERAL	9	11	10	9	120,000
PRÉSTAMO NECESARIO PARA COMPRAR EL EDIFICIO	$60,000	$40,000	$130,000	$70,000	

tres sociedades de ahorro y crédito en busca de financiamiento. Debido a que Hall ha sido un buen cliente en el pasado y ha mantenido una alta calificación crediticia en la comunidad, cada compañía de ahorro y crédito está dispuesta a considerar el otorgamiento de la totalidad o parte del préstamo hipotecario necesario para cada propiedad. Cada oficial de préstamo ha fijado diferentes tasas de interés en cada propiedad (la tasa se ve afectada por el vecindario del edificio, la condición de la propiedad y el deseo de la empresa de crédito de financiar edificios de varios tamaños), *y* cada compañía de crédito ha colocado un máximo al crédito total que puede otorgar a Hall. Esta información se resume en la tabla de la página anterior.

Para Hall, cada edificio de apartamentos es igualmente atractivo como inversión, así que ha decidido comprar todos los edificios posibles con el pago de interés total más bajo. ¿A cuáles compañías de crédito les debería pedir un préstamo para comprar cuáles edificios? Una misma propiedad puede ser financiada por una o más compañías de ahorro y crédito.

9-17 El gerente de producción de la compañía J. Mehta está planeando una serie de periodos de producción de un mes para fabricar fregaderos de acero inoxidable. La demanda para los próximos cuatro meses es la siguiente:

MES	DEMANDA DE FREGADEROS DE ACERO INOXIDABLE
1	120
2	160
3	240
4	100

De manera normal, la compañía Mehta puede producir 100 fregaderos de acero inoxidable al mes. Esto se hace durante las horas regulares de producción a un costo de $100 por fregadero. Si la demanda en todo un mes no puede ser satisfecha por la producción regular, el gerente de producción tiene otras tres opciones: 1. producir hasta 50 fregaderos más al mes en horas extras, pero a un costo de $130 por fregadero; 2. comprar un número limitado de fregaderos a un competidor amigable para su reventa (el número máximo de compras externas durante el periodo de 4 meses es de 450 fregaderos, a un costo de $150 cada uno), o 3. satisfacer la demanda usando su inventario disponible. El costo mensual de mantener el inventario es de $10 por fregadero. No se permiten órdenes sin surtir (pendientes) por faltantes. El inventario disponible al principio del mes uno es de 40 fregaderos. Configure este problema de "suavización de la producción" como un problema de transporte para minimizar el costo.

9-18 En la actualidad, Ashley's Auto Top Carriers tiene plantas en Atlanta y Tulsa que abastecen a los principales centros de distribución en Los Ángeles y Nueva York. Debido a una demanda en expansión, Ashley ha decidido abrir una tercera planta y la elección se ha reducido a una de dos ciudades: Nueva Orleans o Houston. Los costos de producción y distribución relevantes, así como la capacidad de planta y las demandas de distribución, se muestran en la tabla al final de esta página.

¿Cuál de las nuevas plantas posibles debería abrirse?

9-19 Marc Smith, vicepresidente de operaciones de HHN, Inc., un fabricante de gabinetes para conmutadores telefónicos, está restringido a cumplir los pronósticos a 5 años por la capacidad limitada en las tres plantas existentes. Estas tres plantas están en Waterloo, Pusan y Bogotá. Como su asistente, usted ha recibido la información de que, debido a las limitaciones de capacidad existentes y al mercado mundial de gabinetes en expansión, HNN agregará una nueva planta a las tres plantas existentes. El departamento de bienes raíces ha recomendado a Marc dos sitios que parecen particularmente buenos, debido a su situación política estable y a un tipo de cambio tolerable: Dublín, Irlanda y Fontainebleau, Francia. Marc sugiere que usted podría tomar los datos de la página siguiente y determinar dónde se debería instalar la cuarta planta, con base en sus

Datos para el problema 9-18

	DE LAS PLANTAS / A LOS CENTROS DE DISTRIBUCIÓN	LOS ÁNGELES	NUEVA YORK	PRODUCCIÓN NORMAL	COSTO DE PRODUCCIÓN UNITARIO ($)
Plantas existentes	ATLANTA	$8	$5	600	6
	TULSA	4	7	900	5
Ubicaciones propuestas	NUEVA ORLEANS	5	6	500	4 *(anticipado)*
	HOUSTON	4	6	500	3 *(anticipado)*
	PRONÓSTICO DE LA DEMANDA	800	1,200	2,000	

Indica que el costo de distribución (envío, manejo, almacenamiento) será de $6 por unidad, si se envía de Houston a Nueva York

Datos para el problema 9-19

	UBICACIÓN DE LA PLANTA				
ÁREA DE MERCADO	WATERLOO	PUSAN	BOGOTÁ	FONTAINEBLEAU	DUBLÍN
Canadá					
Demanda 4,000					
Costo de producción	$50	$30	$40	$50	$45
Costo de transporte	10	25	20	25	25
Sudamérica					
Demanda 5,000					
Costo de producción	50	30	40	50	45
Costo de transporte	20	25	10	30	30
Cuenca del Pacífico					
Demanda 10,000					
Costo de producción	50	30	40	50	45
Costo de transporte	25	10	25	40	40
Europa					
Demanda 5,000					
Costo de producción	50	30	40	50	45
Costo de transporte	25	40	30	10	20
Capacidad	8,000	2,000	5,000	9,000	9,000

costos de producción y sus costos de transporte. ¿Qué sitio es el mejor?

9-20 La corporación Don Levine está considerando agregar una planta a sus tres instalaciones existentes en Decatur, Minneapolis y Carbondale. Se están considerando San Luis y el Este de San Luis. Si se evalúan solamente los costos unitarios de transporte como se muestra en las siguientes tablas, ¿qué sitio es el mejor?

	DE LAS PLANTAS EXISTENTES			
A	DECATUR	MINNEAPOLIS	CARBONDALE	DEMANDA
Blue Earth	$20	$17	$21	250
Ciro	25	27	20	200
Des Moines	22	25	22	350
Capacidad	300	200	150	

	DE LAS PLANTAS PROPUESTAS	
A	ESTE DE SAN LUIS	SAN LUIS
Blue Earth	$29	$27
Ciro	30	28
Des Moines	30	31
Capacidad	150	150

9-21 Use los datos del problema 9.20 y los costos de producción unitarios que se muestran en la siguiente tabla, para determinar qué ubicaciones generan el menor costo?

LOCALIZACIÓN	COSTOS DE PRODUCCIÓN
Decatur	$50
Minneapolis	60
Carbondale	70
Este de San Luis	40
San Luis	50

9-22 En una operación de taller, se pueden realizar cuatro trabajos en cualesquiera de cuatro máquinas. En la siguiente tabla, se presentan las horas requeridas para cada trabajo en cada máquina. Al supervisor de planta le gustaría asignar los trabajos de modo que se minimice el tiempo total. Encuentre la mejor solución. ¿Qué asignaciones deberían hacerse?

	MÁQUINA			
TRABAJO	*W*	*X*	*Y*	*Z*
A12	10	14	16	13
A15	12	13	15	12
B2	9	12	12	11
B9	14	16	18	16

9-23 Cuatro automóviles han entrado al taller de reparaciones de Bubba para varios tipos de trabajos, que van desde un ajuste de la transmisión hasta un trabajo de frenos. El nivel de experiencia de los mecánicos es muy variado, y Bubba quiere minimizar el tiempo requerido para completar todas las tareas. Se ha estimado el tiempo en minutos para que cada mecánico complete cada trabajo. Billy puede completar el trabajo 1 en 400 minutos, el trabajo 2 en 90 minutos, el trabajo 3 en 60 minutos y el trabajo 4 en 120 minutos. Taylor terminaría el trabajo 1 en 650 minutos, el trabajo 2 en 120 minutos, el trabajo 3 en 90 minutos y el trabajo 4 en 180 minutos. Mark puede terminar el trabajo 1 en 480 minutos, el trabajo 2 en 120 minutos, el trabajo 3 en 80 minutos y el trabajo 4 en 180 minutos. John completaría el trabajo 1 en 500 minutos, el trabajo 2 en 110 minutos, el trabajo 3 en 90 minutos y el trabajo 4 en 150 minutos. Cada mecánico debería asignarse a sólo uno de los trabajos. ¿Cuál es el tiempo total mínimo requerido para terminar estas tareas? ¿Quién debería asignarse a cada trabajo?

9-24 Los equipos de arbitraje de béisbol se encuentran actualmente en cuatro ciudades donde están empezando series de tres juegos. Cuando éstas terminen, se requiere que los equipos de arbitraje trabajen en partidos de cuatro ciudades diferentes. En la siguiente tabla se muestran las distancias (millas) desde cada una de las ciudades donde los árbitros están trabajando actualmente hasta las ciudades donde comenzarán los nuevos juegos:

	A			
DE	KANSAS CITY	CHICAGO	DETROIT	TORONTO
Seattle	1,500	1,730	1,940	2,070
Arlington	460	810	1,020	1,270
Oakland	1,500	1,850	2,080	X
Baltimore	960	610	400	330

La X indica que el equipo de árbitros en Oakland no puede enviarse a Toronto. Determine qué equipo debería enviarse a cada ciudad para minimizar la distancia total recorrida. ¿Cuántas millas se viajaría, si se realizaran estas asignaciones?

9-25 En el problema 9-24 se encontró la distancia mínima viajada. Para saber cuánto mejor es esta solución que las asignaciones que podrían haberse realizado, encuentre las asignaciones que darían la distancia máxima recorrida. Compare esta distancia total con la distancia que se encontró en el problema 9-24.

9-26 Roscoe Davis, director del Departamento de Negocios de una universidad, ha decidido aplicar un nuevo método para la asignación de profesores a los cursos del próximo semestre. Como criterio para juzgar quién debería impartir cada curso, el profesor Davis revisa evaluaciones de enseñanza en los últimos dos años (realizadas por los estudiantes). Como cada uno de los cuatro profesores impartió cada uno de los cuatro cursos en un momento u otro durante el periodo de dos años, Davis puede otorgar una calificación en cada curso para cada profesor. Estos valores se muestran en la siguiente tabla. Encuentre la mejor asignación de los profesores a los cursos para maximizar la calificación general de la enseñanza.

	CURSO			
PROFESOR	ESTADÍSTICA	ADMINISTRACIÓN	FINANZAS	ECONOMÍA
Anderson	90	65	95	40
Sweeney	70	60	80	75
Williams	85	40	80	60
McKinney	55	80	65	55

9-27 El administrador del hospital general en St. Charles debe nombrar a jefes de enfermería para cuatro departamentos de reciente creación: urología, cardiología, ortopedia y obstetricia. En previsión de este problema de personal, ha contratado cuatro enfermeras: Hawkins, Condriac, Bardot y Hoolihan. Debido a que cree en el enfoque del análisis cuantitativo para resolver problemas, el gerente entrevistó a cada enfermera, considerado sus antecedentes, personalidad y talento, y desarrolló una escala de costos que va de 0 a 100 para utilizarla en la asignación. Un 0 para la enfermera Bardot asignada a la unidad de cardiología implica que ella sería perfectamente adecuada para esa tarea. Por el contrario, un valor cercano a 100 implicaría que no es adecuada en absoluto para ser jefa de esa unidad. La tabla adjunta presenta las cifras completas de costos que el gerente del hospital otorgó para todas las asignaciones posibles. ¿Qué enfermera debería asignarse a qué unidad?

	DEPARTAMENTO			
ENFERMERA	UROLOGÍA	CARDIOLOGÍA	ORTOPEDIA	OBSTETRICIA
Hawkins	28	18	15	75
Condriac	32	48	23	38
Bardot	51	36	24	36
Hoolihan	25	38	55	12

9-28 La compañía Gleaming acaba de desarrollar un nuevo líquido para lavar platos y está preparando una campaña promocional en televisión nacional. La compañía ha decidido programar una serie de comerciales de un minuto durante la hora de máxima audiencia de las amas de casa entre la 1 P.M. y las 5 P.M. Para alcanzar la mayor audiencia posible, Gleaming quiere programar un solo anuncio en cada una de cuatro cadenas televisivas y que un solo anuncio aparezca durante cada uno de los cuatro bloques de tiempo de una hora. En la siguiente tabla se presentan los niveles de exposición para cada hora, que representan el número de espectadores por $1,000 gastado. ¿En qué cadena debería programarse el anuncio cada hora para ofrecer la máxima exposición a la audiencia?

	CADENA			
HORAS DE AUDIENCIA	*A*	*B*	*C*	INDEPENDIENTE
1–2 P.M.	27.1	18.1	11.3	9.5
2–3 P.M.	18.9	15.5	17.1	10.6
3–4 P.M.	19.2	18.5	9.9	7.7
4–5 P.M.	11.5	21.4	16.8	12.8

Datos para el problema 9-29

DISPOSITIVOS MÉDICOS	PLANTA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C53	$0.10	$0.12	$0.13	$0.11	$0.10	$0.06	$0.16	$0.12
C81	0.05	0.06	0.04	0.08	0.04	0.09	0.06	0.06
D5	0.32	0.40	0.31	0.30	0.42	0.35	0.36	0.49
D44	0.17	0.14	0.19	0.15	0.10	0.16	0.19	0.12
E2	0.06	0.07	0.10	0.05	0.08	0.10	0.11	0.05
E35	0.08	0.10	0.12	0.08	0.09	0.10	0.09	0.06
G99	0.55	0.62	0.61	0.70	0.62	0.63	0.65	0.59

9-29 La compañía de Patricia García está produciendo siete nuevos productos médicos. Cada una de las ocho plantas de García puede agregar un producto más a su actual línea de dispositivos médicos. En la tabla anterior, se muestran los costos de producción unitarios para las diferentes piezas en las ocho plantas. ¿Cómo debería García asignar los nuevos productos a las plantas para minimizar los costos de producción?

9-30 Haifa Instruments, un productor israelí de unidades portátiles de diálisis de riñón y otros productos médicos, desarrolla un plan global de ocho meses. Se pronostica que la demanda y la capacidad (en unidades) serán como se indica en la siguiente tabla.

El costo de producción de cada unidad de diálisis es de $1,000 en tiempo regular, $1,300 en horas extras y $1,500 en un subcontrato. El costo por mantener una unidad en inventario es de $100 al mes. No hay existencias de inventario ni al principio ni al final.

(a) Establezca un plan de producción, utilizando el modelo de transporte, que minimice el costo. ¿Cuál es el costo de este plan?
(b) A través de una mejor planeación, la producción en tiempo regular puede ajustarse exactamente al mismo valor de 275 por mes. ¿Esto altera la solución?
(c) Si los costos de horas extras se elevan de $1,300 a $1,400, ¿cambia esto su respuesta al inciso (a)? ¿Qué pasaría si se reducen a $1,200?

9-31 La tripulación de astronautas de la NASA incluye actualmente 10 especialistas de misión que poseen un doctorado en astrofísica o en astromedicina. Uno de estos especialistas será asignado a cada uno de los 10 vuelos programados para los próximos nueve meses. Los especialistas de la misión son responsables de realizar experimentos científicos y médicos en el espacio, o bien, del lanzamiento, la recuperación o la reparación de satélites. El mismo jefe de personal de los astronautas es un ex miembro de la tripulación, con tres misiones en su haber, y debe decidir quién tiene que ser asignado y capacitado para cada una de las diferentes misiones. Claramente, los astronautas con educación médica son más adecuados para las misiones que implican experimentos biológicos o médicos; mientras que aquellos con títulos en ingeniería —u orientados a la física— son los más adecuados para otro tipo de misiones. El jefe asigna a cada astronauta una calificación en una escala de 1 a 10 para cada posible misión, un 10 implica una aptitud perfecta para la tarea en cuestión y 1 es una carencia total de aptitud. Sólo se asigna un especialista a cada vuelo, y ninguno se reasigna hasta que todos los demás hayan volado al menos una vez.

(a) ¿Quién debería asignarse a qué vuelo?
(b) La NASA acaba de saber que Anderson se casará en febrero y que se le ha concedido una gira publicitaria en Europa durante ese mes. (Tiene la intención de llevar a su esposa y tomar el viaje doble como una luna de miel). ¿Cómo cambia esto la programación final?
(c) Certo se ha quejado de que fue calificado erróneamente en sus misiones de enero. Afirma que ambas calificaciones deberían ser 10; el jefe está de acuerdo

Datos para el problema 9-30

CAPACIDAD FUENTE	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.
Mano de obra								
Tiempo regular	235	255	290	300	300	290	300	290
Tiempo extra	20	24	26	24	30	28	30	30
Subcontrato	12	15	15	17	17	19	19	20
Demanda	255	294	321	301	330	320	345	340

Datos para el problema 9-31

	MISIÓN									
ASTRONAUTA	ENE. 12	ENE. 27	FEB. 5	FEB. 26	MAR. 26	ABR. 12	MAY. 1	JUN. 9	AGO. 20	SEP. 19
Vincze	9	7	2	1	10	9	8	9	2	6
Veit	8	8	3	4	7	9	7	7	4	4
Anderson	2	1	10	10	1	4	7	6	6	7
Herbert	4	4	10	9	9	9	1	2	3	4
Schatz	10	10	9	9	8	9	1	1	1	1
Plane	1	3	5	7	9	7	10	10	9	2
Certo	9	9	8	8	9	1	1	2	2	9
Moses	3	2	7	6	4	3	9	7	7	9
Brandon	5	4	5	9	10	10	5	4	9	8
Drtina	10	10	9	7	6	7	5	4	8	8

y recalcula el programa. ¿Ocurren algunos cambios en el programa establecido en el inciso (b)?

(d) ¿Cuáles son las fortalezas y las debilidades de este enfoque para la programación?

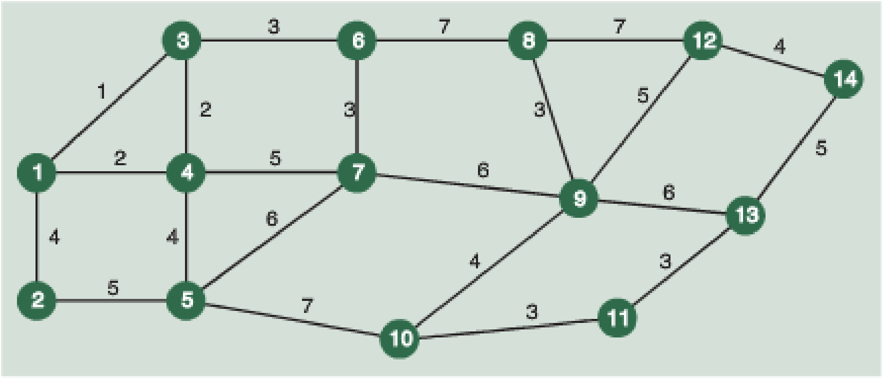
9-32 La Corporación XYZ está ampliando su mercado a fin de incluir Texas. Cada vendedor es asignado a distribuidores potenciales en una de cinco áreas diferentes. Se prevé que el vendedor pasará de tres a cuatro semanas en su área asignada. Se iniciará una campaña de marketing en todo el estado una vez que el producto se haya entregado a los distribuidores. Los cinco vendedores que serán asignados a estas áreas (una persona en cada una de ellas) han evaluado las áreas con respecto a la deseabilidad de su asignación, como se muestra en la siguiente tabla. La escala va de 1 (menos deseable) a 5 (más deseable). ¿Qué asignaciones deberían hacerse si se desea maximizar el total de las calificaciones?

9-33 La constructora Bechtold se encuentra en el proceso de instalación de líneas eléctricas en un gran desarrollo habitacional. Steve Bechtold quiere minimizar la longitud total de alambre utilizado, con la finalidad de minimizar sus costos. El desarrollo habitacional se muestra como una red. Cada casa ha sido numerada, y las distancias entre casas se dan en cientos de pies. ¿Qué recomienda usted?

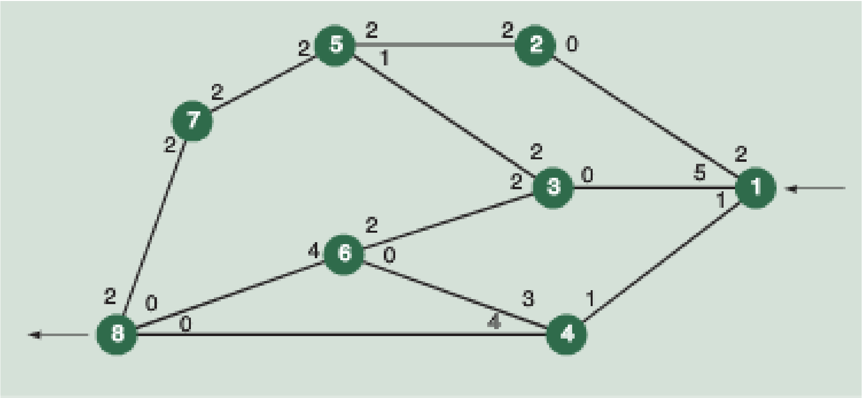
Tabla para el problema 9-32

	AUSTIN/SAN ANTONIO	DALLAS/FT. WORTH	EL PASO/OESTE DE TEXAS	HOUSTON/ GALVESTON	CORPUS CHRISTI/VALLE DEL RÍO GRANDE
Erica	5	3	2	3	4
Louis	3	4	4	2	2
Maria	4	5	4	3	3
Paul	2	4	3	4	3
Orlando	4	5	3	5	4

Red para el problema 9-33



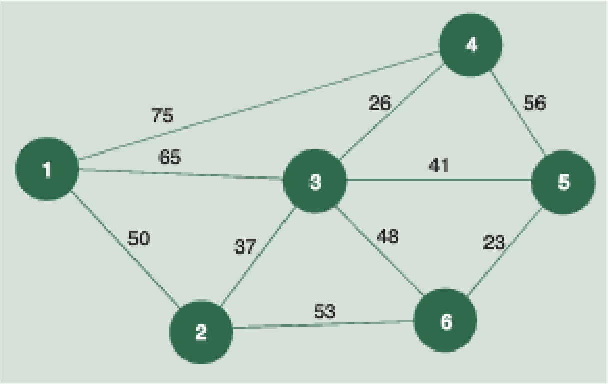
Red para el problema 9-34



9-34 La ciudad de Nueva Berlín está considerando hacer varias de sus calles de un solo sentido (vea la red que se proporciona). Asimismo, debido al aumento de impuestos a la propiedad y a un dinámico plan de desarrollo vial, la ciudad de Nueva Berlín ha estado considerando el aumento de la capacidad de dos de sus carreteras. Si se hace esto, el tránsito por el camino 1-2 (del nodo 1 al nodo 2) se incrementaría de 2 a 5, y la capacidad de tránsito a lo largo del camino 1-4 aumentaría de 1 a 3. ¿Cuál es el número máximo de automóviles por hora que pueden viajar de este a oeste con el sistema de carreteras actual? Si se realizan los aumentos de capacidad de los caminos 1-2 y 2-5, ¿cómo cambiaría el número de automóviles por hora que pueden viajar de este a oeste?

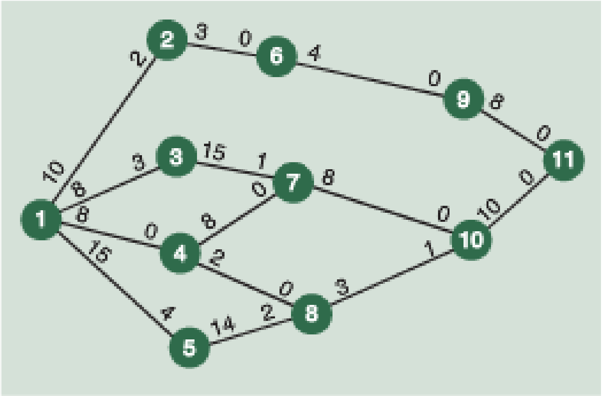
9-35 El director de seguridad quiere conectar cámaras de video de seguridad al sitio de control principal desde cinco ubicaciones potencialmente problemáticas. En forma ordinaria, el cable simplemente se tendería desde cada sitio hasta el punto de control principal. Sin embargo, debido a que el entorno es potencialmente explosivo, el cable se debe tender en un conducto especial cuyo aire se purga continuamente. Este conducto es muy caro, pero suficiente para manejar cinco cables (el máximo que podría necesitarse). Utilice la técnica del árbol de expansión mínima para encontrar la ruta con la distancia mínima del conducto entre las ubicaciones indicadas en la figura. (Observe que no tiene importancia cuál es el sitio principal de control).

Red para el problema 9-35



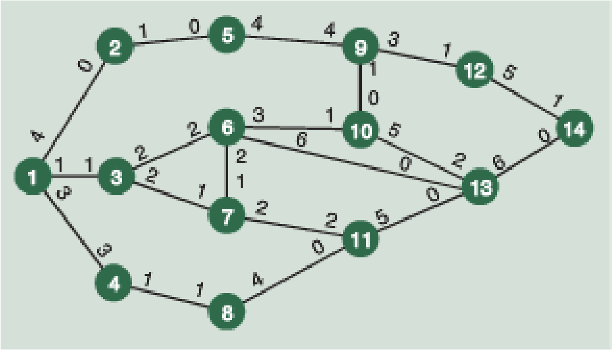
9-36 En la siguiente red, se muestra el sistema de carreteras alrededor del complejo hotelero en International Drive (nodo 1) hasta Disney World (nodo 11) en Orlando, Florida. Los números junto a los nodos representan el flujo de tránsito en cientos de automóviles por hora. ¿Cuál es el flujo máximo de autos desde el complejo hotelero hasta Disney World?

Red para el problema 9-36



9-37 Los números de la red que se muestra a continuación representan los miles de galones por hora que fluyen a través de una planta de procesamiento químico. Dos terminales de la planta de procesamiento químico, representadas por los

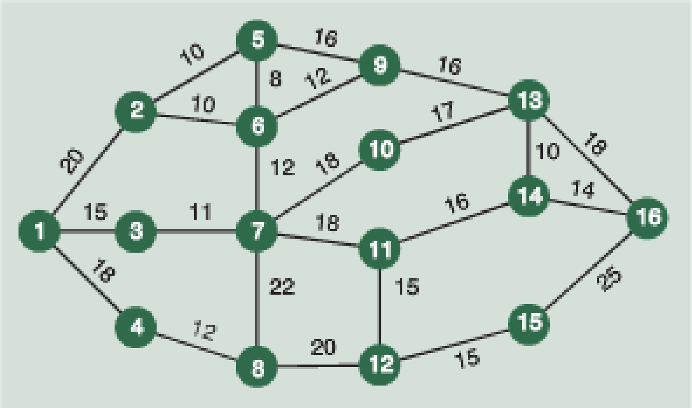
Red para el problema 9-37



nodos 6 y 7, han tenido problemas recientemente, y se está considerando repararlas. Sin embargo, las reparaciones requerirían que estas terminales (nodos) se cerraran durante una cantidad significativa de tiempo, y ningún material podría fluir hacia estos nodos o desde ellos, sino hasta completar los trabajos. ¿Qué impacto tendría el cierre de estos nodos sobre la capacidad de la red?

9-38 Las ciudades alemanas alrededor del Bosque Negro están representadas por los nodos de la red que se muestra a continuación. Las distancias entre las ciudades se dan en kilómetros. Encuentre la ruta más corta desde la ciudad 1 hasta la ciudad 16. Si ciertas inundaciones en las ciudades 7 y 8 fuerzan el cierre de todos los caminos que conducen hacia esas ciudades o que salen desde ellas, ¿cómo impactaría esto a la ruta más corta?

Red para el problema 9-38



9-39 La constructora Grey quisiera determinar la forma menos costosa de conectar TV por cable en las casas que está construyendo. Se han identificado 11 posibles ramas o rutas que podrían utilizarse para conectar las casas. El costo en cientos de dólares y las ramas se resumen en la siguiente tabla.

(a) ¿Cuál es la forma menos costosa de llevar el cable a estas casas?

RAMA	NODO DE INICIO	NODO FINAL	COSTO ($100s)
Rama 1	1	2	5
Rama 2	1	3	6
Rama 3	1	4	6
Rama 4	1	5	5
Rama 5	2	6	7
Rama 6	3	7	5
Rama 7	4	7	7
Rama 8	5	8	4
Rama 9	6	7	1
Rama 10	7	9	6
Rama 11	8	9	2

(b) Después de revisar los costos del cable y de la instalación, la constructora quisiera alterar los costos para la instalación de la TV por cable entre sus casas. Es necesario modificar las primeras ramas. Los cambios se resumen en la siguiente tabla. ¿Cuál es el impacto en los costos totales?

RAMA	NODO DE INICIO	NODO FINAL	COSTO ($100s)
Rama 1	1	2	5
Rama 2	1	3	1
Rama 3	1	4	1
Rama 4	1	5	1
Rama 5	2	6	7
Rama 6	3	7	5
Rama 7	4	7	7
Rama 8	5	8	4
Rama 9	6	7	1
Rama 10	7	9	6
Rama 11	8	9	2

9-40 Para ir de Quincy a Old Bainbridge, George Olin tiene 10 caminos posibles. Cada uno puede considerarse como una rama en un problema de la ruta más corta.

(a) Determine la manera de llegar desde Quincy (nodo 1) hasta Old Bainbridge (nodo 8) que minimizará la distancia total recorrida. Las distancias se dan en cientos de millas.

RAMA	NODO DE INICIO	NODO FINAL	DISTANCIA (EN CIENTOS DE MILLAS)
Rama 1	1	2	3
Rama 2	1	3	2
Rama 3	2	4	3
Rama 4	3	5	3
Rama 5	4	5	1
Rama 6	4	6	4
Rama 7	5	7	2
Rama 8	6	7	2
Rama 9	6	8	3
Rama 10	7	8	6

(b) George Olin cometió un error al estimar las distancias de Quincy a Old Bainbridge. Las nuevas distancias se dan en la siguiente tabla. ¿Qué impacto tiene esto en la ruta más corta desde Quincy hasta Old Bainbridge?

RAMA	NODO DE INICIO	NODO FINAL	DISTANCIA (EN CIENTOS DE MILLAS)
Rama 1	1	2	3
Rama 2	1	3	2
Rama 3	2	4	3
Rama 4	3	5	1
Rama 5	4	5	1
Rama 6	4	6	4
Rama 7	5	7	2
Rama 8	6	7	2
Rama 9	6	8	3
Rama 10	7	8	6

9-41 South Side Oil and Gas, una nueva empresa en Texas, ha desarrollado una red de oleoductos para transportar petróleo desde sus campos de exploración hasta una refinería y otros sitios. Hay 10 tuberías (ramas) en la red. En la siguiente tabla, se proporcionan el flujo de petróleo en cientos de galones y la red de tuberías.

(a) ¿Cuál es el máximo que puede fluir a través de la red?

RAMA	NODO DE INICIO	NODO FINAL	CAPACIDAD	CAPACIDAD INVERSA	FLUJO
Rama 1	1	2	10	4	10
Rama 2	1	3	8	2	5
Rama 3	2	4	12	1	10
Rama 4	2	5	6	6	0
Rama 5	3	5	8	1	5
Rama 6	4	6	10	2	10
Rama 7	5	6	10	10	0
Rama 8	5	7	5	5	5
Rama 9	6	8	10	1	10
Rama 10	7	8	10	1	5

(b) South Side Oil and Gas debe modificar sus patrones de flujo en la red de tuberías. Los nuevos datos se encuentran en la siguiente tabla. ¿Qué impacto tiene esto en el flujo máximo a través de la red?

RAMA	NODO DE INICIO	NODO FINAL	CAPACIDAD	CAPACIDAD INVERSA	FLUJO
Rama 1	1	2	10	4	10
Rama 2	1	3	8	2	5
Rama 3	2	4	12	1	10
Rama 4	2	5	0	0	0
Rama 5	3	5	8	1	5
Rama 6	4	6	10	2	10
Rama 7	5	6	10	10	0
Rama 8	5	7	5	5	5
Rama 9	6	8	10	1	10
Rama 10	7	8	10	1	5

9-42 La siguiente tabla representa una red donde los arcos se identifican mediante sus nodos de inicio y final. Dibuje la red y utilice un árbol de expansión mínima para encontrar la distancia mínima requerida para conectar todos los nodos.

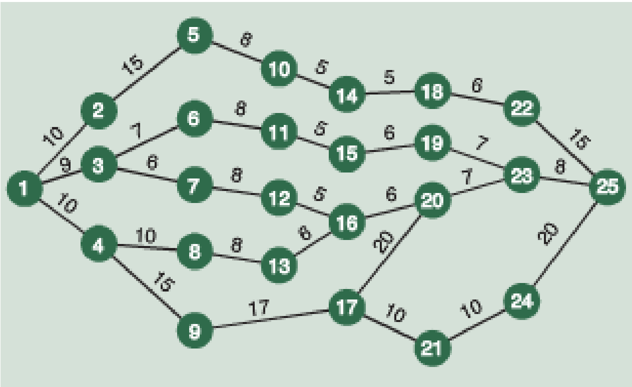
ARCO	DISTANCIA
1–2	12
1–3	8
2–3	7
2–4	10
3–4	9
3–5	8
4–5	8
4–6	11
5–6	9

9-43 La Northwest University se encuentra en el proceso de completar una red de buses de computadora que conectarán las instalaciones informáticas en todo el campus. El objetivo principal es tender un cable principal desde un extremo del campus hasta el otro (nodos 1 a 25) a través de ductos subterráneos. Estos ductos se muestran en la red; la distancia entre ellos se da en cientos de pies. Por fortuna, estos ductos subterráneos tienen capacidad restante a través de la cual se puede introducir el cable del bus.

(a) Dada la red para este problema, ¿qué tan larga (en cientos de pies) es la ruta más corta desde el nodo 1 hasta el nodo 25?

(b) Además de la red de buses de computadora, también se está planeando un nuevo sistema telefónico. El sistema telefónico usaría los mismos ductos subterráneos. Si se instala el sistema telefónico, las siguientes rutas a lo largo de los ductos estarían llenas y ya no podrían alojar la red de buses de computadora: 6-11, 7-12 y 17-20. ¿Qué cambios (si los hubiera) tendrían que hacerse a la ruta utilizada para los buses de computadora, si se instalara el sistema telefónico?

Red para el problema 9-43



(c) La universidad *decidió* instalar el nuevo sistema telefónico antes que el cable para la red de computadoras. Debido a la demanda inesperada de instalaciones informáticas, se requiere un cable adicional desde el nodo 1 hasta el nodo 25. Lamentablemente, el cable para la primera red o la red original usó por completo la capacidad a lo largo de su trayectoria. Ante esta situación, ¿cuál es el mejor camino para el segundo cable de red?

Estudio de caso

Andrew-Carter, Inc.

Andrew-Carter, Inc. (A-C), es un importante productor canadiense y distribuidor de accesorios de iluminación al aire libre. Sus dispositivos se distribuyen en toda América del Norte y ha tenido una gran demanda durante varios años. La compañía opera tres plantas que fabrican el aparato y lo envía a cinco centros de distribución (almacenes).

Durante la actual recesión, A-C ha visto una caída importante en la demanda de sus dispositivos, puesto que el mercado de viviendas ha disminuido. Con base en los pronósticos de las tasas de interés, el jefe de operaciones siente que la demanda de vivienda y, por lo tanto, de su producto se mantendrá deprimido en el futuro previsible. A-C está considerando el cierre de una de sus plantas, dado que ahora está operando con un exceso de capacidad prevista de 34,000 unidades por semana. Las demandas semanales pronosticadas para el año próximo son

Almacén 1	9,000 unidades
Almacén 2	13,000 unidades
Almacén 3	11,000 unidades
Almacén 4	15,000 unidades
Almacén 5	8,000 unidades

Las capacidades de planta en unidades por semana son

Planta 1, en tiempo regular	27,000 unidades
Planta 1, en tiempo extra	7,000 unidades
Planta 2, en tiempo regular	20,000 unidades
Planta 2, en tiempo extra	5,000 unidades
Planta 3, en tiempo regular	25,000 unidades
Planta 3, en tiempo extra	6,000 unidades

Si A-C cierra cualquiera de sus plantas, sus costos semanales cambiarán, porque los costos fijos son menores para una planta no operativa. En la tabla 9.5 se muestran los costos de producción de cada planta, tanto variables de tiempo regular y tiempo extra, como fijos con la planta operando y cerrada. La tabla 9.6 muestra los costos de envío desde cada planta hasta cada almacén (centro de distribución).

Preguntas para análisis

1. Evalúe las diferentes configuraciones de plantas operando y cerradas que satisfagan la demanda semanal. Determine qué configuración minimiza los costos totales.
2. Analice las implicaciones del cierre de una planta.

Fuente: Profesor Michael Boleta, University of the Pacific.

TABLA 9.5
Andrew-Carter, Inc., costos de producción variables y fijos por semana

		COSTO FIJO POR SEMANA	
PLANTA	COSTO VARIABLE	OPERANDO	SIN OPERAR
Núm. 1, tiempo regular	$2.80/unidad	$14,000	$6,000
Núm. 1, tiempo extra	3.52		
Núm. 2, tiempo regular	2.78	12,000	5,000
Núm. 2, tiempo extra	3.48		
Núm. 3, tiempo regular	2.72	15,000	7,500
Núm. 3, tiempo extra	3.42		

TABLA 9.6
Andrew-Carter, Inc., costos de distribución por unidad

DE LA PLANTA	AL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN W1	W2	W3	W4	W5
Núm. 1	$0.50	$0.44	$0.49	$0.46	$0.56
Núm. 2	0.40	0.52	0.50	0.56	0.57
Núm. 3	0.56	0.53	0.51	0.54	0.35

Estudio de caso

Northeastern Airlines

Northeastern Airlines es una aerolínea regional que da servicio a nueve ciudades en los estados de la región de Nueva Inglaterra, así como a ciudades en Nueva York, Nueva Jersey y Pennsylvania. Aunque hay vuelos sin escalas para algunas de las rutas, con frecuencia se requieren vuelos de conexión. La red muestra las ciudades servidas y las utilidades por pasajero a lo largo de cada una de esas rutas. Las rutas de Boston a Providence y de Providence a Boston generan sólo $9 de utilidad por pasajero después de todos los gastos. Para dar servicio a estas ciudades, Northeastern opera una flota de 16 jets Embraer E-195 de 122 pasajeros. Estos aviones, que introdujo Embraer por primera vez a finales de 2004, han ayudado a que Northeastern Airlines siga siendo rentable durante varios años. Sin embargo, recientemente los márgenes de ganancia han estado cayendo y Northeastern se enfrenta a la perspectiva de reducir sus operaciones.

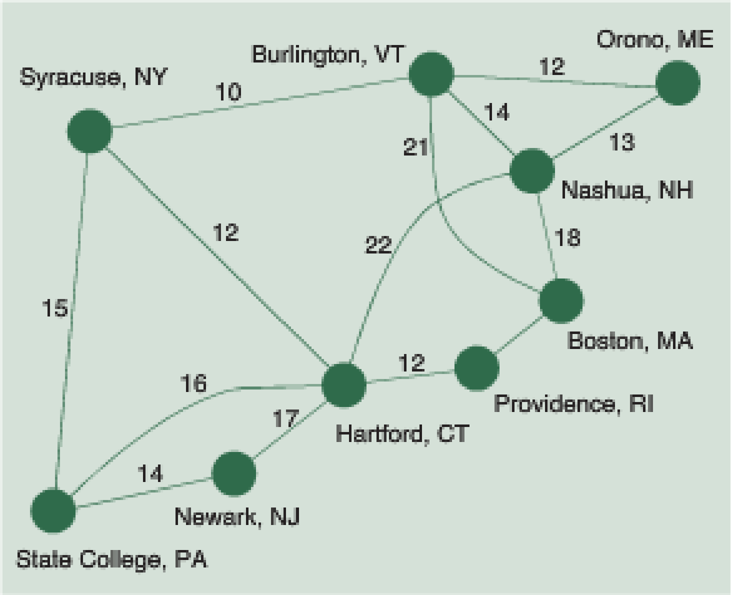
La gerencia de Northeastern Airlines ha considerado varias opciones para reducir costos y aumentar la rentabilidad. Debido a las regulaciones de la Administración Federal de Aviación, la empresa debe continuar sirviendo a cada una de las nueve ciudades. Sin embargo, la manera en que se da servicio a estas ciudades depende de la gerencia de la aerolínea. Se ha hecho la sugerencia de proporcionar un menor número de vuelos directos, lo cual significaría que una ciudad servida por Northeastern solamente podría tener vuelos directos a una sola ciudad distinta. La compañía tiene previsto contratar a un consultor de análisis de marketing para determinar cómo se vería afectada la demanda por los vuelos más largos con más conexiones, y para pronosticar la demanda a lo largo de cada una de las rutas con base en un mapa modificado de las operaciones de vuelo. Antes de contratar al consultor, la empresa desea determinar la forma más rentable (con base en la utilidad por pasajero) de continuar sirviendo a todas las ciudades.

Preguntas para análisis

1. Desarrolle un mapa de operaciones de vuelo que siga sirviendo a cada una de las nueve ciudades, pero que maximice la utilidad por pasajero de la compañía (*Sugerencia:* Encuentre el árbol de expansión *máxima*).
2. Comente cómo deberían asignarse los 16 jets.

Gracias al profesor Faizul Huq, de la Escuela de Negocios de la Ohio University, por proporcionarnos este caso.

Área de servicio de Northeastern Airlines



Estudio de caso

Problemas de tránsito en la Southwestern University

La Southwestern University (SWU), ubicada en la pequeña ciudad de Stephenville, Texas, está experimentando un mayor interés en su programa de fútbol americano, ahora que ha contratado a un entrenador de renombre. El aumento en las ventas de boletos para la próxima temporada implica ingresos adicionales, pero también significa mayores quejas debido a los problemas de tránsito asociados con los partidos de fútbol. Cuando se construya un nuevo estadio, esto sólo empeorará. Marty Starr, presidente de la SWU, ha pedido al Comité de Planeación de la Universidad que estudie este problema.

Con base en las proyecciones de tránsito, al Dr. Starr le gustaría que hubiera la capacidad suficiente para que 35,000 automóviles por hora pudieran viajar desde el estadio hasta la autopista interestatal. Para aliviar los problemas de tránsito esperados, se está considerando la ampliación de algunas de las calles actuales que llevan de la universidad a la carretera interestatal, con la finalidad de aumentar su capacidad. A continuación, se muestran las capacidades de las calles actuales con el número de automóviles (en miles) por hora. Dado que el principal problema será después de cada partido, tan sólo se indican los flujos desde el estadio. Estos flujos consideran que algunas calles cercanas al estadio se transforman en calles de un solo sentido durante un corto periodo después de cada juego, con oficiales de policía que dirigen el tránsito.

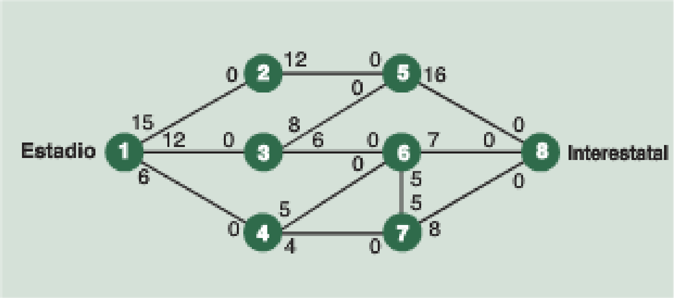
Alexander Lee, miembro del Comité de Planeación de la Universidad, ha dicho que una revisión rápida de las capacidades de tránsito en el diagrama indica que el número total de automóviles por hora que pueden salir del estadio (nodo 1) es de 33,000. El número de autos que pueden pasar a través de los nodos 2, 3 y 4 es 35,000 por hora, y la cantidad de automóviles que pueden pasar a través de los nodos 5, 6 y 7 es aún mayor. Por lo tanto, el Dr. Lee ha sugerido que la capacidad actual es de 33,000 vehículos por hora. También ha recomendado que se haga una petición al alcalde de la ciudad para que expanda una de las rutas desde el estadio hasta la autopista para permitir un adicional de 2,000 vehículos por hora. Recomienda ampliar la ruta más barata. Si la ciudad decide no ampliar las carreteras, se considera que el problema de tránsito sería una molestia, pero aun así sería manejable.

Con base en la experiencia, se cree que mientras la capacidad de las calles no sea 2,500 vehículos por hora inferior al número de autos que salen del estadio, el problema no es demasiado grave. Sin embargo, la gravedad del problema crece dramáticamente por cada 1,000 vehículos adicionales que se agregan a las calles.

Preguntas para análisis

1. Si no hay ampliación, ¿cuál es el número máximo de autos que en realidad puede viajar cada hora desde el estadio hasta la interestatal? ¿Por qué este número no es igual a 33,000, como sugirió el Dr. Lee?
2. Si los costos de ampliación son los mismos para cada una de las calles, ¿cuál(es) de ellas recomendaría expandir para aumentar la capacidad a 33,000? ¿Qué calles recomendaría ampliar con la finalidad de obtener una capacidad total del sistema de 35,000 autos por hora?

Caminos del estadio a la interestatal



Estudios de caso en Internet

Visite nuestra página en Internet, **www.pearsonenespañol.com/render**, y consulte estos estudios de caso adicionales:

(1) **Northwest General Hospital:** Este caso implica la mejora del sistema de distribución de alimentos en un hospital, con la finalidad de reducir las posibilidades de que los alimentos se enfríen antes de que se sirvan a los pacientes.

(2) **Custom Vans, Inc:** Este caso se refiere a la búsqueda de la mejor ubicación para una planta que fabricará duchas usadas en furgonetas personalizadas.

(3) **Ranch Development Project:** Este caso se refiere a la búsqueda de la forma menos costosa en que se pueden brindar los servicios de agua y alcantarillado a los hogares de una nueva urbanización.

(4) **Old Oregon Wood Store:** Este caso implica la determinación de la mejor forma de asignar empleados a los trabajos en una pequeña empresa de manufactura.

(5) **Binder's Beverage:** Este caso trata sobre la determinación de la ruta más corta entre una planta y un almacén.

Bibliografía

Adlakha, V. y K. Kowalski. "Simple Algorithm for the Source-Induced Fixed-Charge Transportation Problem", *Journal of the Operational Research Society* 55, 12 (2004): 1275-1280.

Bowman, E. "Production Scheduling by the Transportation Method of Linear Programming", *Operations Research* 4 (1956).

Dawid, Herbert, Johannes Konig y Christine Strauss. "An Enhanced Rostering Model for Airline Crews", *Computers and Operations Research* 28, 7 (junio de 2001): 671-688.

Hezarkhani, Behzad y Wieslaw Kubiak. "A Coordinating Contract for Transshipment In a Two-Company Supply Chain", *European Journal of Operational Research* 207, 1 (2010): 232-237.

Jacobs, T., B. Smith y E. Johnson. "Incorporating Network Flow Effects into the Airline Fleet Assignment Process", *Transportation Science* 42, 4(2008): 514-529.

Johnsonbaugh, Richard. *Discrete Mathematics*, 5a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.

Kawatra, R. y D. Bricker. "A Multiperiod Planning Model for the Capacitated Minimal Spanning Tree Problem", *European Journal of Operational Research* 121, 2 (2000): 412-419.

Koksalan, Murat y Haldun Sural. "Efes Beverage Group Makes Location and Distribution Decisions for Its Malt Plants", *Interfaces* 29, 2 (marzo-abril de 1999): 89-103.

Liu, Jinming y Fred Rahbar. "Project Time–Cost Trade-off Optimization by Maximal Flow Theory", *Journal of Construction Engineering & Management* 130, 4 (julio/agosto de 2004): 607-609.

Liu, Shiang-Tai. "The Total Cost Bounds of the Transportation Problem with Varying Demand and Supply", *Omega* 31, 4 (2003): 247-251.

Martello, Silvano. "Jeno Egervary: From the Origins of the Hungarian Algorithm to Satellite Communication", *Central European Journal of Operations Research* 18, 1 (2010): 47-58.

McKeown, P. y B. Workman. "A Study in Using Linear Programming to Assign Students to Schools", *Interfaces* 6, 4 (agosto de 1976).

Render, B. y R. M. Stair. *Introduction to Management Science*. Boston: Allyn & Bacon, Inc., 1992.

Sancho, N. G. F. "On the Maximum Expected Flow in a Network", *Journal of Operational Research Society* 39 (mayo de 1988): 481-485.

Sedeño-Noda, Antonio, Carlos González-Martín y Sergio Alonso. "A Generalization of the Scaling Max-Flow Algorithm", *Computers & Operations Research* 31, 13 (noviembre de 2004): 2183-2198.

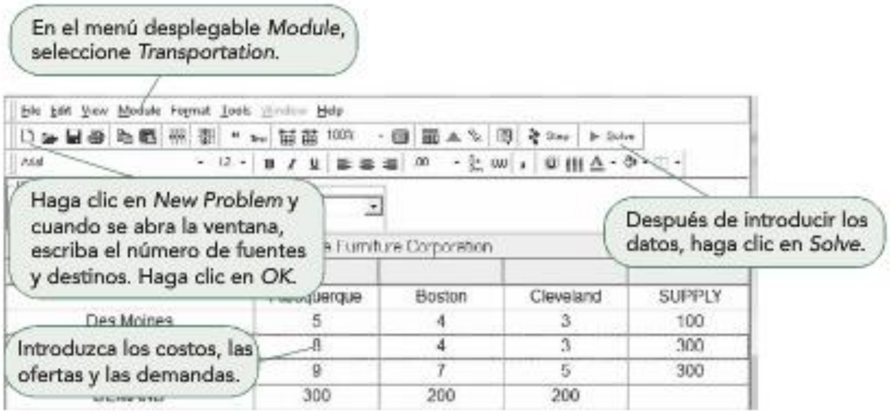
Troutt, M. D. y G. P. White. "Maximal Flow Network Modeling of Production Bottleneck Problems", *Journal of the Operational Research Society* 52, 2 (febrero de 2001): 182-187.

Apéndice 9.1: Uso de QM para Windows

QM para Windows tiene en su menú un módulo de transporte, así como un módulo de asignación. Ambos son fáciles de usar en cuanto a la introducción de datos y sencillos de interpretar en términos de sus salidas. En el programa 9.9A se muestra la pantalla de entrada para el ejemplo de transporte de Executive Furniture. Es posible especificar la técnica de solución de inicio. Los resultados se muestran en el programa 9.9B. El programa 9.10A muestra la pantalla de entrada para el ejemplo de asignación del taller Fix-It. Basta con introducir los costos y hacer *clic* en *Solve*. El programa 9.10B presenta la solución a este problema.

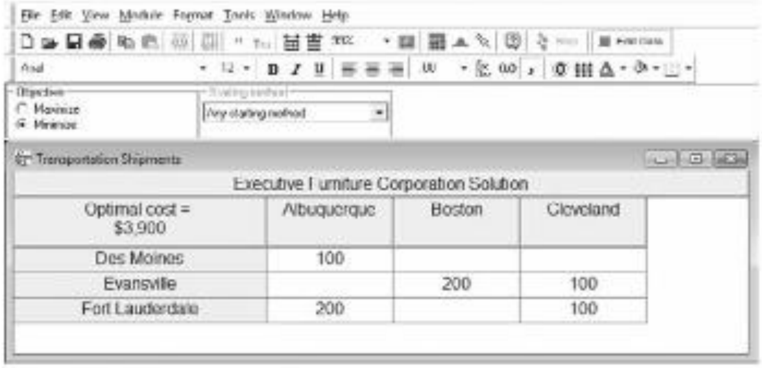
PROGRAMA 9.9A

Entrada de QM para Windows del ejemplo de transporte de Executive Furniture



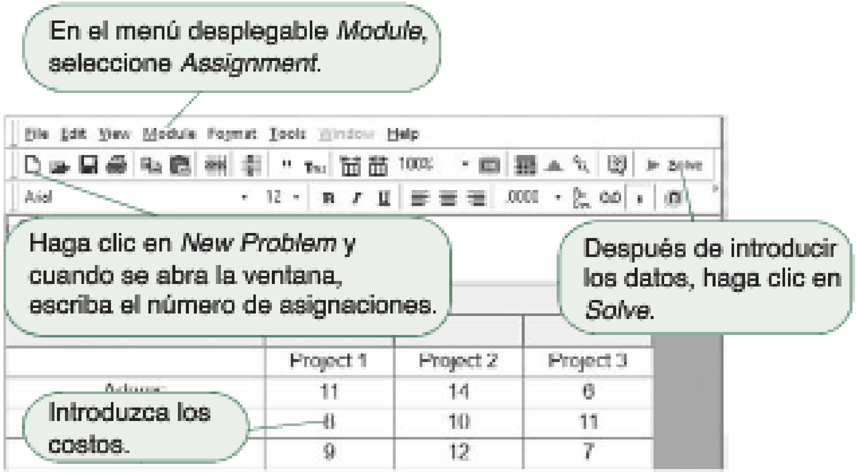
PROGRAMA 9.9B

Solución en QM para Windows del ejemplo de transporte de Executive Furniture



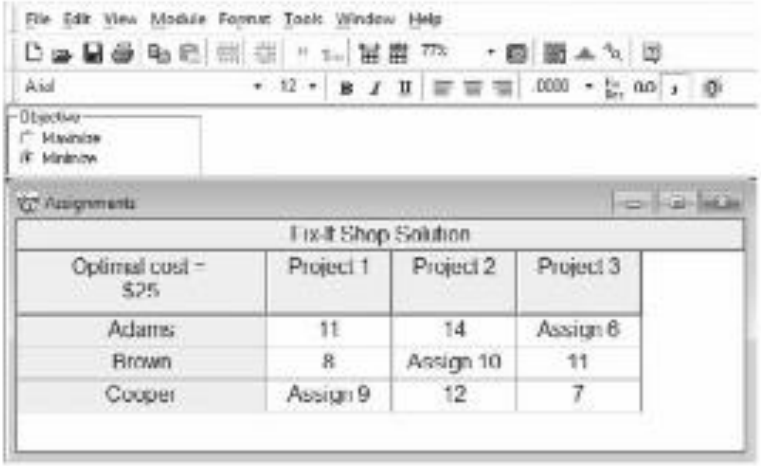
PROGRAMA 9.10A

Entrada en QM para Windows del ejemplo de asignación para el taller Fix-It



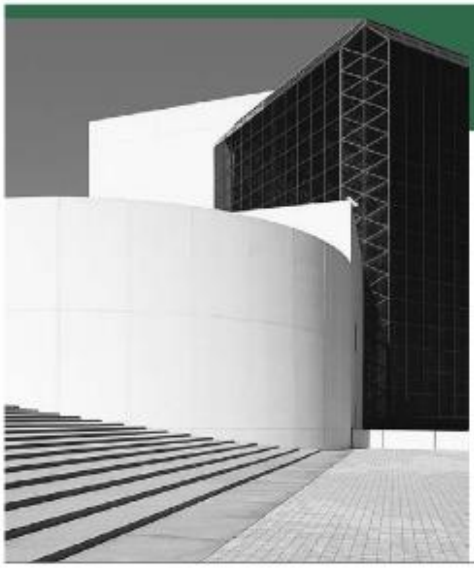
PROGRAMA 9.10B

Salida de QM para Windows del ejemplo de asignación del taller Fix-It.



Fix-It Shop Solution			
Optimal cost = $25	Project 1	Project 2	Project 3
Adams	11	14	Assign 6
Brown	8	Assign 10	11
Cooper	Assign 9	12	7

CAPÍTULO 10



Programación entera, programación por metas y programación no lineal

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de estudiar este capítulo, el alumno será capaz de:

1. Comprender la diferencia entre programación lineal y programación entera.
2. Entender y resolver los tres tipos de problemas de programación entera.
3. Formular y resolver problemas de programación por metas utilizando Excel y QM para Windows.
4. Formular problemas de programación no lineal y resolverlos mediante el uso de Excel.

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

10.1 Introducción

10.2 Programación entera

10.3 Modelado con variables 0-1 (binarias)

10.4 Programación por metas

10.5 Programación no lineal

Resumen • Glosario • Problemas resueltos • Autoevaluación • Preguntas para análisis y problemas • Estudio de caso: Schank Marketing Research • Estudio de caso: Puente sobre el río Oakton • Bibliografía

La última parte del capítulo trata sobre la programación por metas. Esta extensión de la PL permite que los problemas tengan múltiples objetivos. Una vez más, el software como QM para Windows es una herramienta poderosa para resolver este tipo de problemas. Por último, se introduce el tema avanzado de la PNL como un problema especial de programación matemática. Se observa que Excel es un recurso muy útil para la solución de modelos simples de PNL.

Sin embargo, es importante recordar que la solución encontrada para un problema de PNL podría ser un óptimo local y no un óptimo global.

Glosario

Óptimo global La mejor solución general a un problema de programación no lineal.

Óptimo local Una solución a un problema de programación no lineal que es mejor que cualquier punto cercano, pero que puede no ser el óptimo global.

Programación entera Una técnica de programación matemática que genera soluciones enteras para problemas de programación lineal.

Programación entera 0-1 Problemas en los cuales todas las variables de decisión deben tener valores enteros de 0 o 1. Esto también se llama variable binaria.

Programación no lineal Una categoría de las técnicas de programación matemática que permite que la función objetivo y/o las restricciones sean no lineales.

Programación por metas Una técnica de programación matemática que permite a los tomadores de decisiones definir y priorizar objetivos múltiples.

Satisfacción El proceso de llegar lo más cerca posible del logro de un conjunto de objetivos.

Variables de desviación Términos que se minimizan en un problema de programación por metas. Como las variables de holgura en PL, son reales. Son los únicos términos en la función objetivo.

Problemas resueltos

Problema resuelto 10-1

Considere el siguiente problema de programación entera 0-1:

$$\begin{aligned}
\text{Maximizar} \quad & 50X_1 + 45X_2 + 48X_3 \\
\text{sujeto a} \quad & 19X_1 + 27X_2 + 34X_3 \le 80 \\
& 22X_1 + 13X_2 + 12X_3 \le 40 \\
& X_1, X_2, X_3 \text{ deben ser 0 o 1}
\end{aligned}$$

Ahora reformule este problema con restricciones adicionales, de modo que no más de dos de las tres variables puedan tomar un valor igual a 1 en la solución. Además, asegúrese de que si $X_1 = 1$, entonces también $X_2 = 1$. Luego, resuelva el nuevo problema mediante el uso de Excel.

Solución

Excel puede manejar problemas completamente enteros, enteros mixtos y enteros 0-1. En el programa 10.12 se muestran dos nuevas restricciones para manejar el problema reformulado. Estas restricciones son

$$X_1 + X_2 + X_3 \le 2$$

y

$$X_1 - X_2 \le 0$$

La solución óptima es $X_1 = 1$, $X_2 = 1$, $X_3 = 0$, con un valor para la función objetivo de 95.

PROGRAMA 10.12
Solución en Excel 2013 al problema resuelto 10-1

	A	B	C	D	E	F	G
1	Solved Problem 10-1						
2							
3	Variables	X1	X2	X3			
4	Values	1	1	0	Total		
5	Maximize	50	45	48	95		
6							
7	Constraints				LHS	Sign	RHS
8	Constraint 1	19	27	34	46	≤	80
9	Constraint 2	22	13	12	35	≤	40
10	Constraint 3	1	1	1	2	≤	2
11	Constraint 4	1	-1	0	0	≤	0

Entrada de parámetros y selecciones en Solver

Celda objetivo: E5

Celdas variables: B4:D4

Para: Max

Sujeto a las restricciones:

E8:E11 <= G8:G11

B4:D4 = binario

Método de solución: Simplex LP

☑ **Variables no negativas**

Key Formulas

	F
5	=SUMPRODUCT($B$4:$D$4,B5:D5)

Copiar E5 a E8:E11

Problema resuelto 10-2

Recuerde el problema de programación por metas de la compañía Harrison Electric que se vio en la sección 10.4. Su formulación de PL fue

$$\text{Maximizar la utilidad} = \$7X_1 + \$6X_2$$

$$\begin{aligned} \text{sujeta a} \quad & 2X_1 + 3X_2 \leq 12 \quad \text{(horas de cableado)} \\ & 6X_1 + 5X_2 \leq 30 \quad \text{(horas de ensamble)} \\ & X_1, X_2 \geq 0 \end{aligned}$$

donde

X_1 = número de candelabros producidos

X_2 = número de ventiladores de techo producidos

Reformule el problema de Harrison Electric como un modelo de programación por metas con los siguientes objetivos:

Prioridad 1: Producir al menos 4 candelabros y 3 ventiladores de techo.
Prioridad 2: Limitar las horas extra en el departamento de ensamble a 10 horas y en el departamento de cableado a 6 horas.
Prioridad 3: Maximizar la utilidad.

Solución

$$\text{Minimizar } P_1(d_1^- + d_2^-) + P_2(d_3^+ + d_4^+) + P_3 d_5^-$$

$$\begin{aligned} \text{sujeto a} \quad & \left.\begin{aligned} X_1 + \quad d_1^- - d_1^+ &= 4 \\ X_2 + d_2^- - d_2^+ &= 3 \end{aligned}\right\} \textit{Prioridad 1} \\ & \left.\begin{aligned} 2X_1 + 3X_2 + d_3^- - d_3^+ &= 18 \\ 6X_1 + 5X_2 + d_4^- - d_4^+ &= 40 \end{aligned}\right\} \textit{Prioridad 2} \\ & 7X_1 + 6X_2 + d_5^- - d_5^+ = 99{,}999 \} \textit{ Prioridad 3} \end{aligned}$$

En la restricción de la meta con prioridad 3, el 99,999 representa una elevada utilidad poco realista. Es sólo un truco matemático para usarlo como una meta, con la finalidad de que podamos llegar lo más cerca posible de la utilidad máxima.

Problema resuelto 10-3

En el capítulo 5, se presentó el método de suavización exponencial para las series de tiempo de pronósticos. En el programa 10.13A se presenta un ejemplo de esto, con la constante de suavización (α) seleccionada con un valor de 0.1. Se supone que el pronóstico del periodo 1 es perfecto, por lo que el error y el valor absoluto del error son iguales a 0. La desviación absoluta media (MAD) es la medida de la precisión, y el error del primer periodo no se usa en el cálculo, ya que simplemente se supone que es perfecto. La MAD es muy dependiente del valor de α. Utilice Excel para encontrar el valor de α que minimice la MAD. *Sugerencia:* En vez de escribir toda la función objetivo, basta con utilizar la celda ya desarrollada en Excel para la MAD. Recuerde que α debe estar entre 0 y 1.

Solución

La MAD es una función no lineal, por lo que es posible usar Solver de Excel para resolver esto. Sólo hay una restricción: la constante de suavización, α, debe ser menor o igual que 1. Esto se puede introducir directamente en la ventana de *Add Constraint* en Solver, con un 1 introducido en el lado derecho de la desigualdad. El programa 10.13B proporciona la información y la solución final para esto. El valor de α que minimiza la MAD es 0.3478, y produce una MAD de 16.70.

Nota: Solver se puede utilizar de forma similar para encontrar los mejores pesos que deben usarse en un pronóstico por promedios móviles ponderados.

PROGRAMA 10.13A Hoja de cálculo en Excel 2013 para el problema resuelto 10-3

	A	B	C	D	E
1	**Forecasting - Exponential Smoothing**				
2					
3	α =	0.1000	$F_{t+1} = F_t + \alpha(Y_t - F_t)$		
4	Time Period (t)	Demand (Y_t)	Forecast (F_t)	Error = $Y_t - F_t$	|error|
5	1	110	110	0	-
6	2	156	110	46.000	46.000
7	3	126	114.6	11.400	11.400
8	4	138	115.74	22.260	22.260
9	5	124	117.966	6.034	6.034
10	6	125	118.5694	6.431	6.431
11	7	160	119.21246	40.788	40.788
12	8		123.291214	MAD=	22.152
13					
14	F_1 is assumed to be a perfect forecast.				
15	MAD is based on time periods 2 through 7				

Fórmulas clave

	C	D	E
6	=C5+$B$3*D5	=B6-C6	=ABS(B6-C6)

Copiar C6:E6 a C7:E11

	E
12	=AVERAGE(E6:E11)

PROGRAMA 10.13B

Hoja de cálculo en Excel 2013 con la solución al problema resuelto 10-3

	A	B	C	D	E
1	**Forecasting - Exponential Smoothing**				
2					
3	α =	0.3478	$F_{t+1} = F_t + \alpha(Y_t - F_t)$		
4	Time Period (t)	Demand (Y_t)	Forecast (F_t)	Error = $Y_t - F_t$	|error|
5	1	110	110	0	-
6	2	156	110	46.000	46.000
7	3	126	125.9999998	0.000	0.000
8	4	138	125.9999999	12.000	12.000
9	5	124	130.1739129	-6.174	6.174
10	6	125	128.026465	3.026	3.026
11	7	160	126.9737815	33.026	33.026
12	8		138.4611617	MAD=	16.704
13					
14	F_1 is assumed to be a perfect forecast.				
15	MAD is based on time periods 2 through 7				

Entrada de parámetros y selecciones en Solver

Celda objetivo: E12

Celdas variables: B3

Para: Min

Sujeto a las restricciones:

B3 <= 1

Método de solución: GRG nonlineal

☑ **Variables no negativas**

Key Formulas

	C	D	E
6	=C5+$B$3*D5	=B6-C6	=ABS(B6-C6)

Copiar C6:E6 a C7:E11

	E
12	=AVERAGE(E6:E11)

Autoevaluación

- Antes de realizar la autoevaluación, consulte los objetivos de aprendizaje al comienzo del capítulo, las notas en los márgenes y el glosario al final del capítulo.
- Consulte las soluciones en la parte final del libro para corregir sus respuestas.
- Vuelva a estudiar las páginas que correspondan a todas las preguntas que respondió incorrectamente o al material del que no se sienta seguro.

1. Si todas las variables de decisión requieren soluciones enteras, el problema es
   a. un tipo de problema de programación entera pura.
   b. un tipo de problema del método símplex.
   c. un tipo de problema de programación entera mixta.
   d. un tipo de problema de Gorsky.
2. En un problema de programación entera mixta
   a. algunos enteros deben ser pares y otros deben ser impares.
   b. algunas variables de decisión deben requerir sólo resultados enteros y algunas variables deben permitir resultados continuos.
   c. se mezclan diferentes objetivos aunque a veces tienen prioridades relativas establecidas.
3. Un modelo que contiene una función objetivo lineal y restricciones lineales, pero que requiere que una o más de las variables de decisión tomen valores enteros en la solución final se llama
   a. un problema de programación entera.
   b. un problema de programación por metas.
   c. un problema de programación no lineal.
   d. un problema de PL con objetivos múltiples.
4. Una solución de programación entera nunca puede producir una utilidad mayor que la solución de PL para el mismo problema.
   a. Verdadero
   b. Falso
5. En la programación por metas, si se alcanzan todas las metas, el valor de la función objetivo será siempre cero.
   a. Verdadero
   b. Falso
6. El objetivo en un problema de programación por metas con un solo nivel de prioridad es maximizar la suma de las variables de desviación.
   a. Verdadero
   b. Falso
7. El Premio Nobel Herbert A. Simon de la Universidad Carnegie-Mellon, dice que los administradores modernos siempre deberían optimizar, no satisfacer.
   a. Verdadero
   b. Falso
8. El problema de cargos fijos se suele clasificar como
   a. un problema de programación por metas.
   b. un problema entero 0-1.

c. un problema de programación cuadrática.
d. un problema de asignación.

9. El problema de programación entera 0-1
   a. requiere que las variables de decisión tengan valores entre 0 y 1.
   b. requiere que todas las restricciones tengan coeficientes entre 0 y 1.
   c. requiere que las variables de decisión tengan coeficientes entre 0 y 1.
   d. requiere que las variables de decisión sean iguales a 0 o 1.

10. La programación por metas
   a. sólo requiere que usted sepa si la meta es maximizar la utilidad directa o minimizar los costos.
   b. le permite tener múltiples metas.
   c. es un algoritmo con la meta de obtener una solución más rápida al problema de programación entera pura.
   d. es un algoritmo con la meta de obtener una solución más rápida al problema de programación entera mixta.

11. La programación no lineal incluye problemas
   a. donde la función objetivo es lineal pero algunas restricciones son no lineales.
   b. en los cuales las restricciones son lineales, pero la función objetivo es no lineal.
   c. en los que tanto la función objetivo como todas las restricciones son no lineales.
   d. solucionables mediante la programación cuadrática.
   e. todo lo anterior.

Preguntas para análisis y problemas

Preguntas para análisis

10-1 Compare las semejanzas y diferencias entre la programación lineal y la programación por metas.

10-2 Se desarrolló un problema de programación lineal y se encontró la región factible. Si se agregara la restricción adicional de que todas las variables del problema deben ser enteras, ¿cómo cambiaría el tamaño de la región factible? ¿Cómo cambiaría el valor óptimo de la función objetivo?

10-3 Mencione las ventajas y desventajas de resolver problemas de programación entera mediante (a) redondeo y (b) numeración.

10-4 ¿Cuál es la diferencia entre los tres tipos de problemas de programación entera? ¿Cuál crees que sea más común y por qué?

10-5 ¿Qué se entiende por "satisfacer" y por qué este término se usa comúnmente junto con la programación por metas?

10-6 ¿Qué son las variables de desviación? ¿En qué se diferencian de las variables de decisión de los problemas de PL tradicionales?

10-7 Si usted fuera el rector de la universidad a la que asiste y utilizara programación por metas para ayudar en la toma de decisiones, ¿cuáles podrían ser sus metas? ¿Qué tipos de restricciones incluiría en su modelo?

10-8 ¿Qué significa clasificar las metas en la programación por metas? ¿Cómo afecta esto la solución del problema?

10-9 ¿Cuáles de los siguientes son problemas de PNL y por qué?

(a) Maximizar la utilidad $= 3X_1 + 5X_2 + 99X_3$
sujeta a
$$X_1 \geq 10$$
$$X_2 \leq 5$$
$$X_3 \geq 18$$

(b) Maximizar el costo $= 25X_1 + 30X_2 + 8X_1X_2$
sujeto a
$$X_1 \geq 8$$
$$X_1 + X_2 \geq 12$$
$$0.0005X_1 - X_2 = 11$$

(c) Maximizar $Z = P_1d_1^- + P_2d_2^+ + P_3^+$
sujeta a
$$X_1 + X_2 + d_1^- - d_1^+ = 300$$
$$X_2 + d_2^- - d_2^+ = 200$$
$$X_1 + d_3^- - d_3^+ = 100$$

(d) Maximizar la utilidad $= 3X_1 + 4X_2$
sujeta a
$$X_1^2 - 5X_2 \geq 8$$
$$3X_1 + 4X_2 \geq 12$$

(e) Minimizar el costo $= 18X_1 + 5X_2 + X_2^2$
sujeto a
$$4X_1 - 3X_2 \geq 8$$
$$X_1 + X_2 \geq 18$$

¿Algunos de estos problemas son de programación cuadrática?

Problemas*

10-10 Elizabeth Bailey es la dueña y gerente general de Princess Brides, que proporciona el servicio de planeación de bodas en el suroeste de Luisiana. Ella utiliza la publicidad en radio para comercializar su negocio. Hay dos tipos de anuncios disponibles, los emitidos en horario estelar y los que se transmiten en otros horarios. Cada anuncio en horario estelar cuesta $390 y llega a 8,200 personas, mientras que los anuncios en otros horarios cuestan $240 cada uno y llegan a 5,100 personas. Bailey ha presupuestado $1,800 por semana para publicidad. Con base en los comentarios

Nota: significa que el problema puede resolverse con QM para Windows; significa que el problema puede resolverse con Excel QM, y significa que el problema puede resolverse con QM para Windows y/o Excel QM.

de sus clientes, Bailey quiere tener al menos 2 anuncios en horario estelar y no más de 6 en el los demás horarios.

(a) Formule esto como un programa lineal.
(b) Encuentre una solución entera buena u óptima para el inciso (a) usando redondeo o mediante una suposición fundamentada de la respuesta.
(c) Resuelva esto como un problema de programación entera usando una computadora.

10-11 Un grupo de estudiantes universitarios está planeando un viaje de campamento durante el próximo receso vacacional. El grupo debe caminar varias millas por el bosque para llegar al campamento, y todo lo que se necesita para el viaje debe empacarse en una mochila y llevarse al campamento. Una estudiante en particular, Tina Shawl, ha identificado ocho artículos que le gustaría tener en el viaje, pero el peso combinado es demasiado grande como para llevarlos todos. Ha decidido evaluar la utilidad de cada elemento en una escala del 1 al 100, siendo 100 el más benéfico. Los pesos de los artículos en libras y sus valores de utilidad se dan a continuación.

ARTÍCULO	1	2	3	4	5	6	7	8
PESO	8	1	7	6	3	12	5	14
UTILIDAD	80	20	50	55	50	75	30	70

Dado que la caminata hasta el campamento es larga, se ha establecido un límite de 35 libras como peso máximo total de los artículos que se llevarán.

(a) Formule esto como un problema de programación 0-1 para maximizar la utilidad total de los objetos transportados. Resuelva este problema de la mochila usando una computadora.
(b) Suponga que el artículo 3 es una batería extra, que se puede usar con varios de los otros artículos. Tina ha decidido que sólo llevará el artículo 5, un reproductor de CD, si también lleva el artículo 3. Por otro lado, si lleva el artículo 3, quizá lleve o no el artículo 5. Modifique el problema para reflejar esta situación y resuélvalo.

10-12 Student Enterprizes vende dos tamaños de carteles para pared, uno grande de 3 por 4 pies y uno más pequeño de 2 por 3 pies. La utilidad obtenida por la venta de cada cartel grande es de $3; cada cartel pequeño gana $2. La empresa, aunque rentable, no es muy grande; consta de un estudiante de arte, Jan Meising, de la Kentucky University. Debido a su horario de clases, Jan tiene las siguientes restricciones semanales: **1.** puede vender hasta tres carteles grandes; **2.** puede vender hasta cinco carteles pequeños; **3.** puede trabajar un máximo de 10 horas en los carteles durante la semana, para cada cartel grande requiere trabajar 2 horas y para cada pequeño 1 hora. Con el semestre a punto de terminar, Jan planea tomar unas vacaciones de verano de tres meses a Inglaterra y no quiere dejar ningún cartel si terminar. Encuentre la solución entera que maximiza su utilidad.

10-13 Una aerolínea posee una flota de jets Boeing 737 con cierta antigüedad. Está considerando una compra importante de hasta 17 nuevos aviones Boeing modelos 787 y 767. La decisión debe considerar varios factores de costos y capacidad, incluyendo los siguientes: **1.** la compañía aérea puede financiar hasta $1.6 mil millones en compras; **2.** cada Boeing 787 cuesta $80 millones, y cada Boeing 767 cuesta $110 millones; **3.** al menos un tercio de los aviones comprados deberían ser 787 por su largo alcance; **4.** el presupuesto anual de mantenimiento no puede ser mayor a $8 millones; **5.** el costo anual de mantenimiento para cada 787 se estima en $800,000; y para cada 767, $500,000, y **6.** cada 787 puede llevar hasta 125,000 pasajeros al año, mientras que cada 767 puede transportar hasta 81,000 pasajeros al año. Formule esto como un problema de programación entera para maximizar la capacidad anual de transporte de pasajeros. ¿En qué categoría de problema de programación entera se encuentra? Resuelva el problema.

10-14 Inversiones Trapeze es una compañía de capital de riesgo que está evaluando seis oportunidades de inversión diferentes. No hay capital suficiente para invertir en todas ellas, pero se seleccionará más de una. Se planea usar un modelo de programación entera 0-1 para ayudar a determinar cuál de las seis oportunidades debe elegirse. Las variables X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 y X_6 representan las seis opciones. Para cada una de las siguientes situaciones, escriba la restricción (o las restricciones) que se utilizaría(n).

(a) Se deben seleccionar por lo menos 3 de estas opciones.
(b) Debería llevarse a cabo la inversión 1 o bien la inversión 4, pero no ambas.
(c) Si se selecciona la inversión 4, entonces la inversión 6 también tiene que seleccionarse. Sin embargo, si la inversión 4 no se selecciona, aún es posible seleccionar la inversión 6.
(d) La inversión 5 no se puede seleccionar a menos que también se seleccionen tanto la inversión 2 como la 3.
(e) La inversión 5 se debe seleccionar si también se seleccionan tanto la inversión 2 como la 3.

10-15 Horizon Wireless, una compañía de telefonía celular, se está expandiendo hacia una nueva era. Se requieren torres de retransmisión para proporcionar la cobertura de telefonía celular a las diferentes zonas de la ciudad. Se sobrepuso una cuadrícula sobre un mapa de la ciudad para determinar dónde deberían ubicarse las torres. La cuadrícula se compone de 8 zonas etiquetadas de la A a la H. Se han identificado seis posibles ubicaciones de las torres (numeradas de 1 a 6), y cada ubicación podría servir a varias zonas. La siguiente tabla indica las áreas atendidas por cada una de las torres.

UBICACIÓN DE LA TORRE	1	2	3	4	5	6
ZONAS DE SERVICIO	A, B, D	B, C, G	C, D, E, F	E, F, H	E, G, H	A, D, F

Formule esto como un modelo de programación 0-1 que minimice el número total de torres necesarias para cubrir todas las zonas. Resuelva el problema usando una computadora.

10-16 La compañía Innis Construction se especializa en la construcción de viviendas de precio moderado en Cincinnati, Ohio. Tom Innis ha identificado ocho posibles ubicaciones para la construcción de nuevas viviendas unifamiliares, pero no puede costear casas en todos los sitios, porque tiene sólo $300,000 para invertir en todos los proyectos. La tabla adjunta muestra el costo de la construcción de viviendas en cada zona y la utilidad esperada por la venta de cada casa. Tenga en cuenta que los costos de construcción de viviendas difieren considerablemente debido a los costos de los lotes, la preparación del sitio y las diferencias en los modelos que se construirán. Considere también que no es posible construir una fracción de una casa.

UBICACIÓN	COSTO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ESTE SITIO ($)	UTILIDAD ESPERADA ($)
Clifton	60,000	5,000
Mt. Auburn	50,000	6,000
Mt. Adams	82,000	10,000
Amberly	103,000	12,000
Norwood	50,000	8,000
Covington	41,000	3,000
Roselawn	80,000	9,000
Eden Park	69,000	10,000

(a) Formule el problema de Innis usando programación entera 0-1.
(b) Resuelva con QM para Windows o Excel.

10-17 Un desarrollador de bienes raíces está considerando tres posibles proyectos: un pequeño complejo de apartamentos, un pequeño centro comercial y un minialmacén. Cada proyecto requiere diferente financiamiento en los próximos dos años, y el valor presente neto de las inversiones también varía. La siguiente tabla muestra las inversiones requeridas (en miles de $) y el valor presente neto (VPN) de cada proyecto (también expresado en miles de $):

		INVERSIÓN	
	VPN	AÑO 1	AÑO 2
Apartamentos	18	40	30
Centro comercial	15	30	20
Minialmacén	14	20	20

La empresa cuenta con $80,000 para invertir en el año 1 y $50,000 en el año 2.

(a) Desarrolle un modelo de programación entera para maximizar el VPN en esta situación.
(b) Resuelva el problema del inciso (a) usando programas de computadora. ¿Cuál de los tres proyectos se llevaría a cabo si se debe maximizar el VPN? ¿Cuánto dinero se utilizaría cada año?

10-18 Consulte la situación de la inversión inmobiliaria del problema 10-17.

(a) Suponga que el centro comercial y los apartamentos estarían en propiedades adyacentes, y que el centro comercial sólo se considerará si también se construyeran los apartamentos. Formule la restricción que estipula esto.
(b) Formule una restricción que obligue a realizar exactamente dos de los tres proyectos.

10-19 Triangle Utilities suministra electricidad a tres ciudades. La compañía tiene cuatro generadores eléctricos que se utilizan para realizar el suministro. El generador principal opera las 24 horas del día, con una parada ocasional para el mantenimiento de rutina. Los otros generadores (1, 2 y 3) están disponibles para proporcionar energía adicional cuando sea necesario. Se incurre en costo de preparación cada vez que uno de estos generadores se inicia. Los costos de preparación son de $6,000 para 1, $5,000 para 2 y $4,000 para 3. Estos generadores se utilizan de la siguiente manera: un generador puede iniciarse a las 6:00 A.M. y operar, ya sea 8 horas o 16 horas; o puede iniciarse a las 2:00 P.M. y operar 8 horas (hasta las 10 P.M.). Todos los generadores, excepto el generador principal, se apagan a las 10:00 P.M. Los pronósticos indican la necesidad de 3,200 megawatts más que los suministrados por el generador principal antes de las 2:00 P.M., y esta necesidad sube a 5,700 megawatts de 2 a 10:00 P.M. El generador 1 puede proporcionar hasta 2,400 megawatts, el generador 2 hasta 2,100 megawatts y el generador 3 hasta 3,300 megawatts. El costo por megawatt utilizado por periodo de ocho horas es de $8 para 1, $9 para 2 y $7 para 3.

(a) Formule esto como un problema de programación entera para encontrar la forma menos costosa de satisfacer las necesidades del área.
(b) Resuelva usando programas de computadora.

10-20 El jefe de campaña de un político que busca su reelección a un cargo público está planeando la campaña. Ha seleccionado cuatro maneras de hacer publicidad: anuncios en televisión, anuncios en radio, carteles y anuncios en periódicos. Los costos de éstos son $900 por cada anuncio en televisión, $500 por cada anuncio en radio, $600 por un cartel durante un mes y $180 por cada anuncio en periódico. La audiencia alcanzada por cada tipo de publicidad ha sido estimada en 40,000 por cada anuncio en televisión, 32,000 por cada anuncio en radio, 34,000

por cada cartel y 17,000 por cada anuncio en periódico. El presupuesto total de publicidad mensual es de \$16,000. Se han establecido y clasificado los siguientes objetivos:

1. El número de personas alcanzadas debería ser al menos de 1.5 millones.
2. No se debe exceder el presupuesto total de publicidad mensual.
3. En conjunto, el número de anuncios en TV o radio tiene que ser al menos de 6.
4. No se deben utilizar más de 10 anuncios de cualquier tipo de publicidad.

(a) Formule esto como un problema de programación por metas.
(b) Resuelva utilizando software.
(c) ¿Cuáles metas se cumplen exactamente y cuáles no?

10-21 Geraldine Shawhan es presidenta de Shawhan File Works, una empresa que fabrica dos tipos de gabinetes metálicos para archivar. La demanda de su modelo de dos cajones es de hasta 600 gabinetes por semana; la demanda del modelo de tres cajones se limita a 400 gabinetes semanales. Shawhan File Works tiene una capacidad de operación semanal de 1,300 horas; el gabinete de dos cajones requiere 1 hora de producción y el de tres cajones requiere 2 horas. Cada modelo de dos cajones vendido produce una utilidad de \$10, y la utilidad del modelo grande es de \$15. Shawhan ha establecido los siguientes objetivos en orden de importancia:

1. Lograr una utilidad semanal tan cercana a \$11,000 como sea posible.
2. Evitar la subutilización de la capacidad productiva de la empresa.
3. Vender tantos gabinetes de dos y tres cajones como indica la demanda.

Formule esto como un problema de programación por metas.

10-22 Resuelva el problema 10-21. ¿Existen metas no logradas en esta solución? Explique su respuesta.

10-23 Hilliard Electronics produce chips para computadora especialmente codificados para cirugía láser en tamaños de 64 MB, 256 MB y 512 MB y (1 MB significa que el chip almacena 1 millón de bytes de información). Para producir un chip de 64 MB requiere 8 horas de mano de obra, un chip de 256 MB necesita 13 horas y un chip de 512 MB requiere 16 horas. La capacidad de producción mensual de Hilliard es de 1,200 horas. El Sr. Blank, gerente de ventas de la empresa, estima que las ventas máximas mensuales de los chips de 64 MB, 256 MB y 512 MB son 40, 50 y 60, respectivamente. La empresa cuenta con los siguientes objetivos (ordenados del más importante al menos importante):

1. Cumplir una orden del mejor cliente por 30 chips de 64 MB y 35 chips de 256 MB.
2. Proporcionar chips suficientes para por lo menos igualar las estimaciones de ventas establecidas por el Sr. Blank.
3. Evitar la subutilización de la capacidad de producción.

Formule este problema mediante programación por metas.

10-24 Un fabricante de Oklahoma hace dos productos: teléfonos de bocinas (X_1) y teléfonos de botón (X_2). Se ha formulado el siguiente modelo de programación por metas para encontrar el número de cada artículo que debe producirse cada día para cumplir con las metas de la empresa:

$$\text{Minimizar } P_1 d_1^- + P_2 d_2^- + P_3 d_3^+ + P_4 d_1^+$$
$$\text{sujeto a} \quad 2X_1 + 4X_2 + d_1^- - d_1^+ = 80$$
$$8X_1 + 10X_2 + d_2^- - d_2^+ = 320$$
$$8X_1 + 6X_2 + d_3^- - d_3^+ = 240$$
$$\text{toda } X_i, d_i \geq 0$$

Encuentre la solución óptima mediante una computadora.

10-25 El mayor Bill Bligh, director del nuevo programa de formación agregado de 6 meses en la Universidad del Ejército, está preocupado por la forma en que los 20 oficiales que toman el curso usan su valioso tiempo mientras están bajo su cargo. El mayor Bligh piensa que sus alumnos han estado utilizando las 168 horas disponibles por semana de manera ineficiente. Bligh establece que

X_1 = número de horas de sueño necesarias por semana
X_2 = número de horas personales (alimentos, higiene personal, lavandería, etcétera)
X_3 = número de horas de clase y estudio
X_4 = número de horas de tiempo social fuera de la base (citas, deportes, visitas familiares, etcétera).

Bligh cree que los estudiantes deberían estudiar 30 horas a la semana para tener tiempo de absorber el material. Ésta es su meta más importante. También cree que los estudiantes necesitan dormir un máximo de 7 horas por noche, en promedio; éste es el objetivo número 2. Piensa que el tercer objetivo es tener al menos 20 horas semanales de tiempo social.

(a) Formule esto como un problema de programación por metas.
(b) Resuelva el problema utilizando programas de computadora.

10-26 Mick García es un planeador financiero certificado (PFC), y un cliente le ha pedido que invierta \$250,000. Este dinero puede ser colocado en acciones, bonos o en un fondo de inversión en bienes raíces. El rendimiento esperado de la inversión es de 13% para las acciones, 8% para los bonos y 10% para los bienes raíces. Aunque el cliente desea un rendimiento esperado muy alto, estaría satisfecho con un rendimiento esperado de 10%. Debido a consideraciones de riesgo, se han establecido varios objetivos para mantener el riesgo a un nivel aceptable. Uno de los objetivos es poner al menos 30% del dinero en bonos. Otro es que la cantidad de dinero en el sector inmobiliario no debería superar 50% de la inversión combinada en acciones y bonos. Además de estos objetivos, hay una restricción absoluta. En ninguna circunstancia debe invertir más de \$150,000 en cualquier área.

(a) Formule esto como un problema de programación por metas. Suponga que todos los objetivos son igualmente importantes.

(b) Utilice cualquier software disponible para resolver este problema. ¿Cuánto dinero debería colocarse en cada una de las opciones de inversión? ¿Cuál es la rentabilidad total? ¿Cuáles objetivos no se cumplen?

10-27 Hinkel Rotary Engine, Ltd., produce motores para automóvil de cuatro y seis cilindros. La utilidad de la empresa por cada motor de cuatro cilindros vendido durante su ciclo de producción trimestral es de $\$1,800 - \$50X_1$, donde X_1 es el número vendido. Hinkel gana $\$2,400 - \$70X_2$ por cada uno de los motores más grandes que vende, donde X_2 es el número de motores de seis cilindros vendidos. Hay 5,000 horas de tiempo de producción disponibles durante cada ciclo de producción. Un motor de cuatro cilindros requiere 100 horas de tiempo de producción, mientras que los motores de seis cilindros necesitan 130 horas. Formule el problema de planeación de la producción para Hinkel.

10-28 Motocross de Wisconsin produce dos modelos de motos para nieve, la XJ6 y la XJ8. Para planear cualquier semana de producción, Motocross tiene 40 horas disponibles en su bahía de pruebas finales. Cada XJ6 requiere 1 hora de pruebas y cada XJ8 necesita 2 horas. Los ingresos (en miles de \$) para la empresa son no lineales y se expresan como (número de XJ6)(4 − 0.1 número de XJ6) + (número de XJ8)(5 − 0.2 número de XJ8).

(a) Formule el problema.
(b) Resuélvalo usando Excel.

10-29 Durante la temporada de mayor actividad en el año, Green-Gro Fertilizer produce dos tipos de fertilizantes. El tipo estándar (X) es sólo fertilizante, y el otro tipo (Y) es una combinación especial de fertilizante y herbicida. Se ha desarrollado el siguiente modelo para determinar la cantidad de cada tipo de fertilizante que debería producirse con la finalidad de maximizar la utilidad sujeta a una restricción de la mano de obra:

$$\text{Maximizar la utilidad} = 12X - 0.04X^2 + 15Y - 0.06Y^2$$
$$\text{sujeta a} \quad 2X + 4Y \leq 160 \text{ horas}$$
$$X, Y \geq 0$$

Encuentre la solución óptima a este problema.

10-30 Pat McCormack, un asesor financiero de Investors R Us, está evaluando dos acciones en una industria específica. Desea minimizar la varianza de un portafolios compuesto por estas dos acciones, pero quiere tener un rendimiento esperado de al menos 9%. Después de obtener los datos históricos sobre la varianza y los rendimientos, desarrolla el siguiente programa no lineal:

$$\text{Minimizar la varianza del portafolios} = 0.16X^2 + 0.2XY + 0.09Y^2$$
$$\text{sujeta a} \quad X + Y = 1 \quad \text{(todos los fondos deben ser invertidos)}$$
$$0.11X + 0.08Y \geq 0.09 \quad \text{(rendimiento de la inversión)}$$
$$X, Y \geq 0$$

donde

X = proporción de dinero invertido en la acción 1
Y = proporción de dinero invertido en la acción 2

Resuelva esto usando Excel y determine cuánto se debe invertir en cada una de las dos acciones. ¿Cuál es el rendimiento de este portafolios? ¿Cuál es su varianza?

10-31 Summertime Tees vende dos estilos muy populares de camisetas bordadas en el sur de Florida: una camiseta sin mangas y una camiseta regular. El costo de la camiseta sin mangas es de \$6, y el costo de la camiseta regular es de \$8. La demanda de éstas es sensible al precio, y los datos históricos indican que las demandas semanales están dadas por

$$X_1 = 500 - 12P_1$$
$$X_2 = 400 - 15P_2$$

donde

X_1 = demanda de la camiseta sin mangas
P_1 = precio de la camiseta sin mangas
X_2 = demanda de la camiseta regular
P_2 = precio de la camiseta regular

(a) Desarrolle una ecuación para la utilidad total.
(b) Use Excel para encontrar la solución óptima del siguiente programa no lineal. Utilice la función de utilidad desarrollada en el inciso (a).

Maximizar la utilidad

$$\text{sujeta a} \quad X_1 = 500 - 12P_1$$
$$X_2 = 400 - 15P_2$$
$$P_1 \leq 20$$
$$P_2 \leq 25$$
$$X_1, P_1, X_2, P_2 \geq 0$$

10-32 El problema de programación entera de la siguiente página se desarrolló para ayudar al First National Bank a decidir dónde, entre 10 sitios posibles, se deben ubicar cuatro nuevas sucursales:

donde X_i representa Winter Park, Maitland, Osceola, Centro, Sur de Orlando, Aeropuerto, Winter Garden, Apopka, Lake Mary, Cocoa Beach, con i igual de 1 a 10, respectivamente.

(a) ¿Dónde deberían estar ubicadas las cuatro nuevas sucursales, y cuál será el rendimiento esperado?
(b) Si al menos una nueva sucursal se debe abrir en Maitland o Osceola, ¿cambiará esto las respuestas? Agregue la nueva restricción y resuelva otra vez.
(c) El rendimiento esperado en Apopka se sobreestimó. El valor correcto es de \$160,000 por año (es decir, 160). Utilizando los supuestos originales [sin hacer caso a (b)], ¿cambiaría su respuesta al inciso (a)?

10-33 En el problema resuelto 10-3, se utilizó la programación no lineal para encontrar el mejor valor para la constante de suavización, α, en un problema de pronóstico con suavización exponencial. Para saber hasta qué punto la MAD puede variar debido a la selección de la constante de suavización, utilice Excel y los datos del programa 10.13A

para encontrar el valor de la constante de suavización que maximizaría la MAD. Compare esta MAD con la MAD mínima encontrada en el problema resuelto.

10-34 Utilizando los datos del problema resuelto 10-3, desarrolle una hoja de cálculo para un pronóstico con promedios móviles ponderados de 2 periodos, usando pesos de 0.6 (w_1) para el periodo más reciente y 0.4 (w_2) para el otro periodo.

Note que los pesos suman 1, por lo que el pronóstico es simplemente.

Pronóstico para el siguiente periodo = w_1(Valor en el periodo actual) + w_2(Valor en el último periodo).

Encuentre los pesos para este promedio móvil ponderado de 2 periodos que minimizaría la MAD. (*Sugerencia:* Los pesos deben sumar 1).

PE para el problema 10-32

Maximizar el rendimiento esperado $= 120X_1 + 100X_2 + 110X_3 + 140X_4 + 155X_5 + 128X_6 + 145X_7 + 190X_8 + 170X_9 + 150X_{10}$

sujeto a

$$\begin{aligned}
20X_1 + 30X_2 + 20X_3 + 25X_4 + 30X_5 + 30X_6 + 25X_7 + 20X_8 + 25X_9 + 30X_{10} &\leq 110\\
15X_1 + 5X_2 + 20X_3 + 20X_4 + 5X_5 + 5X_6 + 10X_7 + 20X_8 + 5X_9 + 20X_{10} &\leq 50\\
X_2 + X_6 + X_7 + X_9 + X_{10} &\leq 3\\
X_2 + X_3 + X_5 + X_8 + X_9 &\geq 2\\
X_1 + X_3 + X_{10} &\geq 1\\
X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} &\leq 4\\
\text{toda } X_i &= 0 \text{ o } 1
\end{aligned}$$

Estudio de caso

Schank Marketing Research

Schank Marketing Research acaba de firmar contratos para realizar estudios a cuatro clientes. En la actualidad, tres gerentes de proyecto están libres para ser asignados a estas tareas. Aunque todos son capaces de manejar cada trabajo, los tiempos y costos para completar los estudios dependen de la experiencia y el conocimiento de cada gerente. Con base en su juicio, John Schank, el presidente, ha sido capaz de establecer un costo para cada posible asignación. Estos costos, que son realmente los salarios que cada gerente obtendría en cada tarea, se resumen en la tabla de la página siguiente.

Schank es muy reticente a dejar de lado a la NASA, que ha sido un cliente importante en el pasado. (La NASA ha contratado a la empresa para estudiar la actitud del público hacia las propuestas del Transbordador Espacial y la Estación Espacial propuesta). Además, Schank ha prometido proporcionar a Ruth un salario de por lo menos $3,000 en su próximo proyecto. A partir de los contratos anteriores, Schank también sabe que Gardener no se lleva bien con la gerencia de CBT Television, por lo que espera evitar su asignación a CBT. Por último, como la corporación Hines también es un cliente antiguo y valioso, Schank siente que es dos veces más importante asignar un gerente de proyecto de inmediato a la tarea de Hines que asignárselo a General Foundry, un cliente nuevo. Schank quiere minimizar el costo total de todos los proyectos teniendo en cuenta cada una de estas metas. Siente que todas estas metas son importantes, pero si tuviera que clasificarlas, pondría en primer lugar su preocupación por la NASA, en segundo su preocupación por Gardener, en tercero su necesidad de mantener contenta a la corporación Hines, en cuarto su promesa a Ruth, y en último lugar su preocupación por minimizar todos los costos.

Cada gerente de proyecto puede manejar, a lo sumo, un cliente nuevo.

Preguntas para análisis

1. Si Schank no estuviera preocupado por las metas que no implican costos, ¿cómo formularía este problema de modo que pudiera resolverse cuantitativamente?
2. Desarrolle una formulación que incorpore las cinco metas.

GERENTE DE PROYECTO	CLIENTE			
	HINES CORP.	NASA	GENERAL FOUNDRY	CBT TELEVISION
Gardener	$3,200	$3,000	$2,800	$2,900
Ruth	2,700	3,200	3,000	3,100
Hardgraves	1,900	2,100	3,300	2,100

Estudio de caso

Puente sobre el río Oakton

El río Oakton había sido considerado por largo tiempo un impedimento para el desarrollo de una determinada área metropolitana de tamaño medio en el sureste. El río, que se extiende al oriente de la ciudad, dificulta que las personas que viven en su margen oriental se trasladen a sus trabajos en la ciudad y alrededor de ésta, y que aprovechen las atracciones comerciales y culturales que ésta les ofrece. Asimismo, el río inhibe el acceso de los habitantes de su margen occidental a las estaciones oceánicas situadas una hora hacia el este. El puente sobre el río Oakton fue construido antes de la Segunda Guerra Mundial y era claramente insuficiente para manejar el tráfico existente, y mucho menos el tráfico adicional que acompañaría el crecimiento previsto en la zona. Una delegación del Congreso del Estado solicitó al gobierno federal el financiamiento de una parte importante de un nuevo puente de peaje sobre el río Oakton y la legislatura estatal se ocuparía del resto de los fondos necesarios para el proyecto.

El progreso en la construcción del puente se ha dado conforme a lo previsto al inicio de la construcción. La Comisión Estatal de Carreteras, que tendrá jurisdicción operativa sobre el puente, ha llegado a la conclusión de que la apertura del puente al tráfico ocurrirá probablemente a principios del próximo verano, como estaba previsto. Se ha establecido un grupo de trabajo del personal para reclutar, capacitar y programar a los trabajadores necesarios para operar las instalaciones de peaje.

El grupo de trabajo del personal está muy consciente de los problemas presupuestarios que enfrenta el estado. Han tomado como parte de sus tareas el requisito de que los gastos de personal se mantengan lo más bajos posible. Una área particular de preocupación es el número de cobradores de peaje que serán necesarios. El puente contará con tres turnos de cobro: el turno A de la medianoche a las 8 A.M., el turno B de las 8 A.M. a las 4 P.M. y el turno C de las 4 P.M. a la medianoche. Recientemente, el sindicato de empleados estatales negoció un contrato que exige que todos los cobradores de peaje sean empleados permanentes y de tiempo completo. Además, todos los cobradores deben trabajar cinco días por dos de descanso en el mismo turno. Así, por ejemplo, un trabajador podría ser asignado a trabajar martes, miércoles, jueves, viernes y sábado en el turno A, seguido por el domingo y el lunes de descanso. Un empleado no puede ser programado para trabajar, por ejemplo, el martes en el turno A seguido de miércoles, jueves, viernes y sábado en el turno B o con cualquier otra mezcla de turnos durante un bloque de 5 días. Los empleados elegirían sus asignaciones por orden de antigüedad.

El grupo de trabajo ha recibido las proyecciones del flujo de tránsito en el puente por día y hora. Estas proyecciones se basan en extrapolaciones de patrones de tráfico existentes —el patrón de desplazamientos, compras y tránsito que se experimenta actualmente factorizado por las proyecciones de crecimiento—. Los datos estándar de otras instalaciones de peaje operadas por el estado han permitido que el grupo de trabajo pueda convertir estos flujos de tránsito en necesidades del cobro de peaje, es decir, el número mínimo de cobradores necesario por turno, por día, para manejar la carga de tránsito previsto. Estos requisitos del cobro de peaje se resumen en la siguiente tabla:

Número mínimo de cobradores de peaje requeridos por turno

TURNO	DOM.	LUN.	MAR.	MIÉ.	JUE.	VIE.	SAB.
A	8	13	12	12	13	13	15
B	10	10	10	10	10	13	15
C	15	13	13	12	12	13	8

Los números de la tabla incluyen uno o dos cobradores adicionales por turno para reemplazar a quienes se reportan enfermos y para sustituir a los cobradores en sus descansos programados. Observe que cada uno de los ocho cobradores necesarios para el turno A del domingo, por ejemplo, podrían provenir de cualquiera de los turnos A programados para comenzar el miércoles, jueves, viernes, sábado o domingo.

Preguntas para análisis

1. Determine el número mínimo de cobradores de peaje que deberían contratarse para cumplir con los requisitos expresados en la tabla.
2. El sindicato señaló que podría dejar de oponerse a la mezcla de turnos en un bloque de 5 días a cambio de remuneración y prestaciones adicionales. ¿Cuánto podría reducirse el número de cobradores de peaje requeridos si se hace esto?

Fuente: Basado en B. Render, R. M. Stair e I. Greenberg. *Cases and Readings in Management Science*, 2a. ed., 1990, pp. 55-56. Reimpreso con autorización de Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Bibliografía

Aköz, Onur y Dobrila Petrovic. "A Fuzzy Goal Programming Method with Imprecise Goal Hierarchy", *European Journal of Operational Research* 181, 3 (septiembre de 2007): 1427-1433.

Araz, Ceyhun, Pinar Mizrak Ozfirat e Irem Ozkarahan. "An Integrated Multi-criteria Decision-Making Methodology for Outsourcing Management", *Computers & Operations Research* 34, 12 (diciembre de 2007): 3738-3756.

Bertsimas, Dimitris, Christopher Darnell y Robert Soucy. "Portfolio Construction through Mixed-Integer Programming at Grantham, Mayo, Van Otterloo and Company", *Interfaces* 29, 1 (enero de 1999): 49-66.

Chang, Ching-Ter. "Multi-Choice Goal Programming". *Omega* 25, 4 (agosto de 2007): 389-396.

Charnes, A. y W. W. Cooper. *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*, vols. I y II. Nueva York: John Wiley & Sons, Inc. 1961.

Dawid, Herbert, Johannes König y Christine Strauss. "An Enhanced Rostering Model for Airline Crews", *Computers & Operations Research* 28, 7 (junio de 2001): 671-688.

Drees, Lawrence David y Wilbert E. Wilhelm. "Scheduling Experiments on a Nuclear Reactor Using Mixed Integer Programming", *Computers & Operations Research* 28, 10 (septiembre de 2001): 1013-1037.

Hueter, Jackie y William Swart. "An Integrated Labor-Management System for Taco Bell", *Interfaces* 28, 1 (enero-febrero de 1998): 75-91.

Ignizio, James P. *Introduction to Linear Goal Programming*. Beverly Hills: Sage Publications, 1985.

Katok, Elena y Dennis Ott. "Using Mixed-Integer Programming to Reduce Label Changes in the Coors Aluminum Can Plant", *Interfaces* 30, 2 (marzo de 2000): 1-12.

Land, Alisa y Susan Powell. "A Survey of the Operational Use of ILP Models", *Annals of Operations Research* 149, 1 (2007): 147-156.

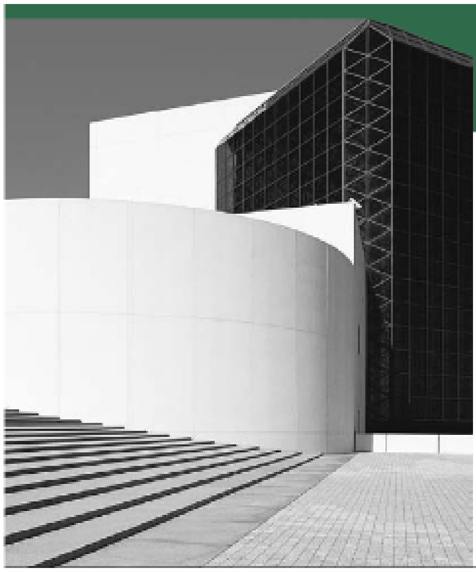
Lee, Sang M. y Marc J. Schniederjans. "A Multicriterial Assignment Problem: A Goal Programming Approach", *Interfaces* 13, 4 (agosto de 1983): 75-79.

Pati, Rupesh Kumar, Prem Vrat y Pradeep Kumar. "A Goal Programming Model for a Paper Recycling System", *Omega* 36, 3 (junio de 2008): 405-417.

Reyes, Pedro M. y Gregory V. Frazier. "Goal Programming Model for Grocery Shelf Space Allocation", *European Journal of Operational Research* 181, 2 (septiembre de 2007): 634-644.

Wadhwa, Vijay y A. Ravi Ravindran. "Vendor Selection in Outsourcing", *Computers & Operations Research* 34, 12 (diciembre de 2007): 3725-3737.

Zangwill, W. I. *Nonlinear Programming: A Unified Approach*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1969.



CAPÍTULO 11

Gestión de proyectos

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de estudiar este capítulo, el alumno será capaz de:

1. Comprender la forma de planear, supervisar y controlar proyectos mediante el uso de PERT y CPM.
2. Determinar el inicio más cercano, la terminación más cercana, el inicio más lejano, la terminación más lejana y los tiempos de holgura para cada actividad, junto con el tiempo total para la terminación del proyecto.
3. Reducir el tiempo total del proyecto con el menor costo total mediante la aceleración de la red, utilizando técnicas manuales o de programación lineal.
4. Entender el importante papel del software en la gestión de proyectos.

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

11.1 Introducción
11.2 PERT/CPM
11.3 PERT/Costo
11.4 Aceleración del proyecto
11.5 Otros temas en la gestión de proyectos

Resumen • Glosario • Ecuaciones clave • Problemas resueltos • Autoevaluación • Preguntas para análisis y problemas • Estudio de caso: Construcción del estadio de la Southwestern University • Estudio de caso: Centro de Investigación sobre Planificación Familiar en Nigeria • Estudios de caso en Internet • Bibliografía
Apéndice 11.1: Gestión de proyectos con QM para Windows

Glosario

Aceleración El proceso de reducir el tiempo total que se necesita para completar un proyecto mediante el gasto de fondos adicionales.

Actividad Un trabajo o una tarea que consume tiempo y es una subparte clave del proyecto total.

Actividades en los arcos (AOA) Una red en la cual las actividades se representan mediante arcos.

Actividades en los nodos (AON) Una red en la que las actividades se representan mediante nodos. Éste es el modelo que se ilustra en nuestro libro.

Análisis de la ruta crítica Un análisis que determina el tiempo total para la terminación del proyecto, su ruta crítica, así como la holgura, ES, EF, LS y LF para cada actividad.

CPM Método de la ruta crítica. Una técnica determinista de redes similar a PERT, pero que permite acelerar los proyectos.

Diagrama de Gantt Una gráfica de barras que indica cuándo se llevarán a cabo las actividades (representadas mediante barras) de un proyecto.

Distribución de probabilidad beta Una distribución de probabilidad que se utiliza con frecuencia para calcular los tiempos esperados de terminación de las actividades y las varianzas en las redes.

Estimaciones del tiempo de la actividad Tres estimaciones de tiempo que se utilizan para determinar el tiempo de terminación esperado y la varianza de una actividad en una red PERT.

Estructura de desglose del trabajo (EDT) Una lista de las actividades que se deben realizar en un proyecto.

Evento Un punto en el tiempo que marca el inicio o el final de una actividad.

Hito Un evento importante en un proyecto.

Nivelación de recursos El proceso de suavizar la utilización de los recursos en un proyecto.

Paso hacia adelante Un procedimiento que se mueve desde el inicio de una red hasta el final de ésta. Se utiliza en la determinación de los tiempos de inicio más cercanos y los tiempos de terminación más cercanos de cada actividad.

Paso hacia atrás Un procedimiento que se mueve desde el final de una red hasta el inicio de ésta. Se utiliza para determinar los tiempos de inicio más lejano y de terminación más lejana.

PERT Técnica de evaluación y revisión del programa. Una técnica de redes que permite tres estimaciones de tiempo para cada actividad en un proyecto.

PERT/Costo Una técnica que permite al tomador de decisiones planear, programar, supervisar y controlar los costos, así como el tiempo del proyecto.

Predecesor inmediato Una actividad que debe completarse antes de poder iniciar otra actividad.

Red Una representación gráfica de un proyecto que contiene las actividades y los eventos.

Ruta crítica La serie de actividades que tienen holgura cero. Es la trayectoria con el tiempo más largo a través de la red. Un retraso de cualquier actividad que se encuentra en la ruta crítica demorará la terminación de todo el proyecto.

Tiempo de actividad esperado El tiempo promedio que se requiere para completar una actividad. $t = (a + 4m + b)/6$.

Tiempo de holgura La cantidad de tiempo que puede retrasarse una actividad sin demorar todo el proyecto. La holgura es igual al tiempo de inicio más lejano menos el tiempo de inicio más cercano, o el tiempo de terminación más lejano menos el tiempo de terminación más cercano.

Tiempo de inicio más cercano (ES) El tiempo más cercano en el que puede iniciar una actividad sin quebrantar los requisitos de precedencia.

Tiempo de inicio más lejano (LS) El tiempo más lejano en el que una actividad puede iniciar sin retrasar todo el proyecto.

Tiempo de terminación más cercano (EF) El tiempo más cercano en el que se puede terminar una actividad sin quebrantar los requisitos de precedencia.

Tiempo de terminación más lejano (LF) El tiempo más lejano en el cual una actividad puede terminar sin retrasar todo el proyecto.

Tiempo más probable (m) La cantidad de tiempo esperada que se requiere para completar una actividad.

Tiempo optimista (a) El menor lapso de tiempo que podría requerirse para terminar una actividad.

Tiempo pesimista (b) La mayor cantidad de tiempo que podría requerirse para completar la actividad.

Varianza del tiempo de terminación de la actividad Una medida de dispersión del tiempo de terminación de la actividad. Varianza $= [(b - a)/6]^2$.

Ecuaciones clave

(11-1) $$t = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Tiempo de terminación esperado para la actividad.

(11-2) $$\text{Varianza} = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2$$

Varianza de una actividad.

(11-3) $\text{EF} = \text{ES} + t$

Tiempo de terminación más cercano.

(11-4) $\text{LS} = \text{LF} - t$

Tiempo de inicio más lejano.

(11-5) $\text{Holgura} = \text{LS} - \text{ES}$ u $\text{Holgura} = \text{LF} - \text{EF}$

Tiempo de holgura en una actividad.

(11-6) Varianza del proyecto $= \sum$ varianzas de las actividades en la ruta crítica

(11-7) $$Z = \frac{\text{Fecha de vencimiento} - \text{Fecha esperada de terminación}}{\sigma_T}$$

Número de desviaciones estándar a las que se encuentra la fecha objetivo con respecto a la fecha esperada, usando la distribución normal.

(11-8) Valor del trabajo completado = (Porcentaje de trabajo completado) × (Presupuesto total de la actividad)

(11-9) Diferencia de la actividad = Costo real − Valor del trabajo completado

(11-10) $$\frac{\text{Costo de aceleración}}{\text{Periodo de tiempo}} = \frac{\text{Costo de aceleración} - \text{Costo normal}}{\text{Tiempo normal} - \text{Tiempo acelerado}}$$

El costo en CPM por reducir la longitud de una actividad en un periodo de tiempo.

Problemas resueltos

Problema resuelto 11-1

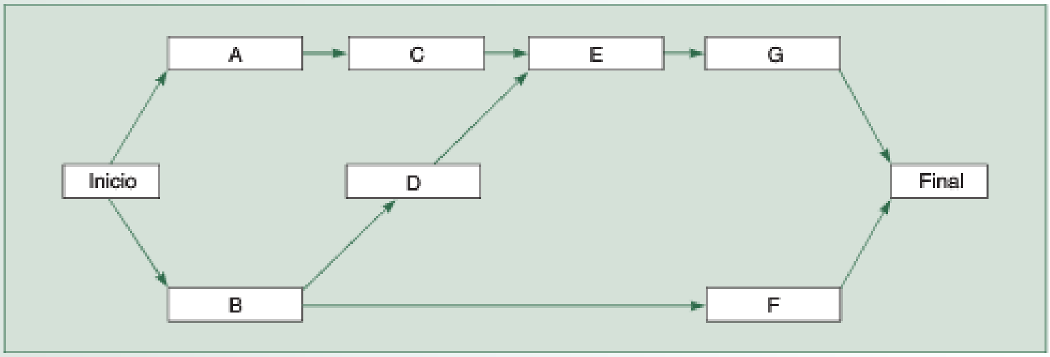
Para terminar el ensamble de las alas de un avión experimental, Scott DeWitte ha establecido los principales pasos y las siete actividades involucradas. Estas actividades se han etiquetado de la *A* a la *G* y se muestran en la siguiente tabla, donde también se presentan sus tiempos estimados de terminación (en semanas) y sus predecesores inmediatos. Determine el tiempo esperado y la varianza para cada actividad.

ACTIVIDAD	*a*	*m*	*b*	PREDECESORES INMEDIATOS
A	1	2	3	—
B	2	3	4	—
C	4	5	6	*A*
D	8	9	10	*B*
E	2	5	8	*C, D*
F	4	5	6	*B*
G	1	2	3	*E*

Solución

Aunque no es necesario para este problema, resultaría útil contar con una gráfica de todas las actividades. En la figura 11.13, se muestra un diagrama PERT para el ensamble de alas.

FIGURA 11.13
Diagrama PERT para Scott DeWitte (problema resuelto 11-1)



Los tiempos y las varianzas esperados pueden calcularse utilizando las fórmulas que se presentaron en el capítulo. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

ACTIVIDAD	TIEMPO ESPERADO (EN SEMANAS)	VARIANZA
A	2	$^1/_9$
B	3	$^1/_9$
C	5	$^1/_9$
D	9	$^1/_9$
E	5	1
F	5	$^1/_9$
G	2	$^1/_9$

Problema resuelto 11-2

Con referencia al problema resuelto 11-1, ahora Scott desearía determinar la ruta crítica para todo el proyecto del ensamble de alas, así como el tiempo de terminación esperado para la totalidad del proyecto. Además, le gustaría determinar los tiempos de inicio y de terminación más cercanos y más lejanos para todas las actividades.

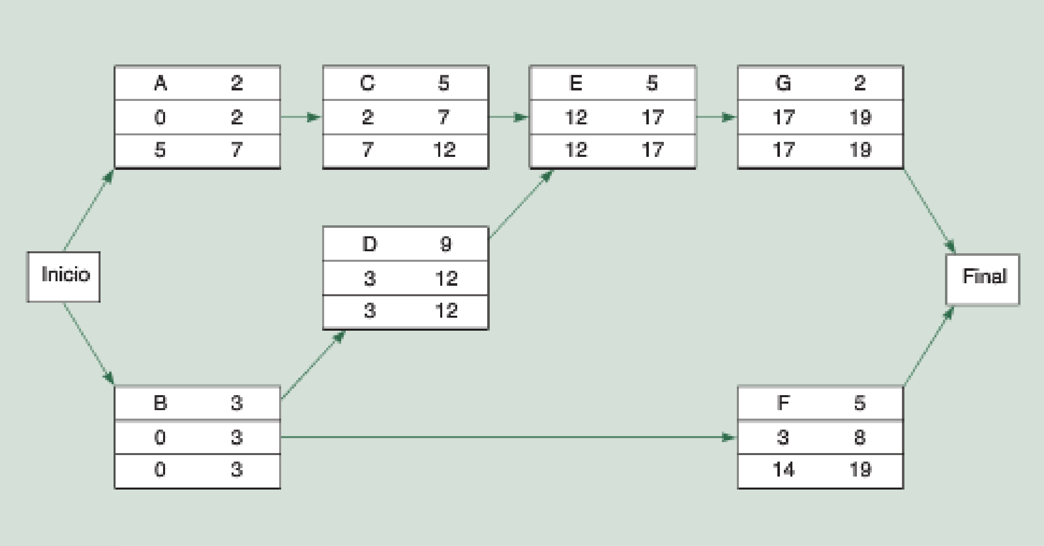
Solución

La ruta crítica, los tiempos de inicio más cercanos, los tiempos de terminación más cercanos, los tiempos de inicio más lejanos y los tiempos de terminación más lejanos pueden determinarse con base en los procedimientos descritos en el capítulo. Los resultados se muestran en la figura 11.14 y se resumen en la siguiente tabla:

	TIEMPO DE ACTIVIDAD				
ACTIVIDAD	ES	EF	LS	LF	HOLGURA
A	0	2	5	7	5
B	0	3	0	3	0
C	2	7	7	12	5
D	3	12	3	12	0
E	12	17	12	17	0
F	3	8	14	19	11
G	17	19	17	19	0

Duración esperada del proyecto = 19 semanas
Varianza de la ruta crítica = 1.333
Desviación estándar de la ruta crítica = 1.155 semanas

FIGURA 11.14
Diagrama PERT completo para Scott DeWitte (problema resuelto 11-2)



Las actividades a lo largo de la ruta crítica son *B*, *D*, *E* y *G*. Estas actividades tienen holgura cero, como se muestra en la tabla. El tiempo de terminación esperado del proyecto es de 19 semanas. Los tiempos de inicio y de terminación más cercanos y más lejanos se muestran en la tabla.

Autoevaluación

- Antes de realizar la autoevaluación, consulte los objetivos de aprendizaje al comienzo del capítulo, las notas en los márgenes y el glosario al final del capítulo.
- Consulte las soluciones en la parte final del libro para corregir sus respuestas.
- Vuelva a estudiar las páginas que correspondan a todas las preguntas que respondió incorrectamente o al material del que no se sienta seguro.

1. Los modelos de redes como PERT y CPM se utilizan para
   a. planear proyectos grandes y complejos.
   b. programar proyectos grandes y complejos.
   c. supervisar proyectos grandes y complejos.
   d. controlar proyectos grandes y complejos.
   e. todo lo anterior.
2. La principal diferencia entre PERT y CPM es que
   a. PERT utiliza una estimación del tiempo.
   b. CPM tiene tres estimaciones de tiempo.
   c. PERT tiene tres estimaciones de tiempo.
   d. con CPM, se supone que todas las actividades pueden realizarse al mismo tiempo.
3. La tiempo de inicio más cercano para una actividad es igual a
   a. el mayor EF de los predecesores inmediatos.
   b. el menor EF de los predecesores inmediatos.
   c. el mayor ES de los predecesores inmediatos.
   d. el menor ES de los predecesores inmediatos.
4. El tiempo de terminación más lejano de una actividad se encuentra con un paso hacia atrás a través de la red. El tiempo de terminación más lejano es igual a
   a. el mayor LF de las actividades para las cuales es un predecesor inmediato.
   b. el menor LF de las actividades para las cuales es un predecesor inmediato.
   c. el mayor LS de las actividades para las cuales es un predecesor inmediato.
   d. el menor LS de las actividades para las cuales es un predecesor inmediato.
5. Cuando se utiliza PERT y se encuentran las probabilidades, uno de los supuestos que se adopta es que
   a. todas las actividades están en la ruta crítica.
   b. los tiempos de actividad son independientes.
   c. todas las actividades tienen la misma varianza.
   d. la varianza del proyecto es igual a la suma de las varianzas de todas las actividades que forman parte de él.
   e. todo lo anterior.
6. En PERT, la estimación de tiempo *b* representa
   a. el tiempo más optimista.
   b. el tiempo más probable.
   c. el tiempo más pesimista.
   d. el tiempo esperado.
   e. ninguno de los anteriores.
7. En PERT, el tiempo de holgura es igual
   a. ES + *t*.
   b. LS − ES.
   c. 0.
   d. EF − ES.
   e. ninguna de las anteriores.
8. La desviación estándar para el proyecto PERT es aproximadamente
   a. la raíz cuadrada de la suma de las varianzas a lo largo de la ruta crítica.
   b. la suma de las desviaciones estándar de las actividades en la ruta crítica.
   c. la raíz cuadrada de la suma de las varianzas de las actividades del proyecto.
   d. todas las anteriores.
   e. ninguna de las anteriores.
9. La ruta crítica es
   a. la ruta más corta en una red.
   b. la ruta más larga en una red.
   c. la ruta con la menor varianza.
   d. la ruta con la mayor varianza.
   e. ninguna de las anteriores.
10. Si el tiempo de terminación del proyecto se distribuye normalmente y la fecha límite para el proyecto es mayor que el tiempo de terminación esperado, entonces la probabilidad de que el proyecto esté terminado para la fecha límite es
    a. menor que 0.50.
    b. mayor que 0.50.
    c. igual a 0.50.
    d. indeterminable sin más información.
11. Si la actividad *A* no está en la ruta crítica, entonces la holgura de *A* será igual a
    a. LF − EF.
    b. EF − ES.
    c. 0.
    d. todas las anteriores.
12. Si un proyecto debe acelerarse con el costo adicional mínimo posible, entonces la primera actividad que se debe acelerar
    a. está en la ruta crítica.
    b. es la que tenga el menor tiempo de actividad.
    c. es la que tenga el mayor tiempo de actividad.
    d. es la que tenga el menor costo.
13. Las actividades ________________ son aquellas que retrasan todo el proyecto si se demoran o atrasan.
14. PERT quiere decir ________________.
15. La aceleración de un proyecto se puede realizar utilizando ________________.
16. PERT puede usar tres estimaciones del tiempo de la actividad. Estas tres estimaciones son ________________, ________________ y ________________.
17. El tiempo de inicio más lejano menos el tiempo de inicio más cercano se llama el tiempo ________________ para cualquier actividad.
18. El porcentaje de terminación del proyecto, el valor del trabajo completado y los costos reales de las actividades reales se utilizan para ______________ los proyectos.

Preguntas para análisis y problemas

Preguntas para análisis

11-1 ¿Cuáles son algunas de las preguntas que pueden contestarse con PERT y con CPM?

11-2 ¿Cuáles son las principales diferencias entre PERT y CPM?

11-3 ¿Qué es una actividad? ¿Qué es un evento? ¿Qué es un predecesor inmediato?

11-4 Describa cómo se pueden calcular los tiempos de actividad esperados y las varianzas en una red PERT.

11-5 Comente brevemente qué se entiende por análisis de la ruta crítica. ¿Cuáles son las actividades en la ruta crítica y por qué son importantes?

11-6 ¿Qué son el tiempo de inicio más cercano y el tiempo de inicio más lejano de una actividad? ¿Cómo se calculan?

11-7 Describa el significado de holgura y comente cómo se puede determinar.

11-8 ¿Cómo podemos determinar la probabilidad de que un proyecto se termine para una fecha determinada? ¿Qué supuestos se adoptan para realizar este cálculo?

11-9 Describa brevemente PERT/Costo y cómo se utiliza.

11-10 ¿Qué es acelerar y cómo se hace en forma manual?

11-11 ¿Por qué es útil la programación lineal en la aceleración con CPM?

Problemas*

: 11-12 Sid Davidson es el director de personal de Babson and Willcount, una empresa especializada en consultoría e investigación. Uno de los programas de capacitación que Sid está considerando para los gerentes de nivel medio de Babson and Willcount es la formación en liderazgo. Sid ha numerado una serie de actividades que deben completarse antes de que un programa de capacitación de esta naturaleza pueda implementarse. Las actividades y los predecesores inmediatos se muestran en la siguiente tabla:

ACTIVIDAD	PREDECESORES INMEDIATOS
A	—
B	—
C	—
D	*B*
E	*A*, *D*
F	*C*
G	*E*, *F*

Desarrolle una red para este problema.

Q: 11-13 Sid Davidson fue capaz de determinar los tiempos de actividad para el programa de formación en liderazgo. Le gustaría determinar el tiempo total para la terminación del proyecto y la ruta crítica. Los tiempos de actividad se muestran en la siguiente tabla (vea el problema 11.12):

ACTIVIDAD	TIEMPO (DÍAS)
A	2
B	5
C	1
D	10
E	3
F	6
G	8
	35

• 11-14 Jean Walker está haciendo planes para sus vacaciones de primavera en las playas de Florida. Desea aplicar las técnicas que aprendió en su clase de métodos cuantitativos; para ello, ha identificado las actividades necesarias para preparar su viaje. La siguiente tabla muestra las actividades y sus predecesores inmediatos. Trace la red para este proyecto.

ACTIVIDAD	PREDECESORES INMEDIATOS
A	—
B	—
C	*A*
D	*B*
E	*C*, *D*
F	*A*
G	*E*, *F*

Q: 11-15 A continuación se presentan los tiempos de actividad para el proyecto del problema 11-14. Encuentre los tiempos más cercanos, más lejanos y de holgura para cada actividad. Después, encuentre la ruta crítica.

ACTIVIDAD	TIEMPO (DÍAS)
A	3
B	7
C	4
D	2
E	5
F	6
G	3

Nota: Q significa que el problema puede resolverse con QM para Windows; X significa que el problema puede resolverse con Excel QM, y Q: significa que el problema puede resolverse con QM para Windows y/o Excel QM.

•11-16 Monohan Machinery se especializa en el desarrollo de equipos de recolección de maleza que se utilizan para eliminar la flora nociva de pequeños lagos. George Monohan, presidente de la compañía, está convencido de que la recolección de la maleza es mucho mejor que el uso de sustancias químicas para exterminarla. Los productos químicos causan contaminación y la flora nociva parece crecer más rápido después de haber utilizado tales sustancias. George está contemplando la construcción de una máquina que recolecte maleza en ríos y canales estrechos. Las actividades necesarias para desarrollar una de estas máquinas experimentales se numeran en la siguiente tabla. Construya una red para estas actividades.

ACTIVIDAD	PREDECESORES INMEDIATOS
A	—
B	—
C	*A*
D	*A*
E	*B*
F	*B*
G	*C*, *E*
H	*D*, *F*

Q:11-17 Después de consultar con Butch Radner, George Monohan fue capaz de determinar los tiempos de actividad para la construcción de la máquina recolectora de maleza en ríos estrechos. A George le gustaría determinar los ES, EF, LS, LF y la holgura para cada actividad. También debe determinar el tiempo total para la terminación del proyecto y la ruta crítica. (Vea el problema 11-16 para mayores detalles). Los tiempos de actividad se muestran en la siguiente tabla:

ACTIVIDAD	TIEMPO (SEMANAS)
A	6
B	5
C	3
D	2
E	4
F	6
G	10
H	7

Q:11-18 Se planeó un proyecto usando PERT con tres estimaciones de tiempo. Se determinó que el tiempo de terminación esperado del proyecto es de 40 semanas. La varianza de la ruta crítica es 9.

(a) ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto esté terminado en 40 semanas o menos?
(b) ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto requiera más de 40 semanas?
(c) ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto esté terminado en 46 semanas o menos?
(d) ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto tarde más de 46 semanas?
(e) El gerente de proyecto desea establecer la fecha límite para la terminación del proyecto, de modo que haya una probabilidad de 90% de terminar a tiempo. Por lo tanto, sólo habría una probabilidad de 10% de que el proyecto requiera más tiempo que el establecido por la fecha límite. ¿Cuál debería ser ésta?

Q:11-19 Tom Schriber, un director de personal de Management Resources, Inc., está diseñando un programa que sus clientes puedan utilizar en el proceso de búsqueda de empleo. Algunas de las actividades incluyen la preparación de currículos, escribir cartas, hacer citas para ver los posibles empleadores, investigar las empresas e industrias, etcétera. En la siguiente tabla, se muestra parte de la información sobre las actividades:

ACTIVIDAD	DÍAS *a*	DÍAS *m*	DÍAS *b*	PREDECESORES INMEDIATOS
A	8	10	12	—
B	6	7	9	—
C	3	3	4	—
D	10	20	30	*A*
E	6	7	8	*C*
F	9	10	11	*B*, *D*, *E*
G	6	7	10	*B*, *D*, *E*
H	14	15	16	*F*
I	10	11	13	*F*
J	6	7	8	*G*, *H*
K	4	7	8	*I*, *J*
L	1	2	4	*G*, *H*

(a) Construya una red para este problema.
(b) Determine el tiempo esperado y la varianza para cada actividad.
(c) Determine los ES, EF, LS, LF y la holgura para cada actividad.
(d) Determine la ruta crítica y el tiempo de terminación del proyecto.
(e) Determine la probabilidad de que el proyecto esté terminado en 70 días o menos.
(f) Determine la probabilidad de que el proyecto esté terminado en 80 días o menos.
(g) Determine la probabilidad de que el proyecto esté terminado en 90 días o menos.

Q:11-20 Mediante el uso de PERT, Ed Rose fue capaz de determinar que el tiempo de terminación esperado del proyecto para la construcción de un yate recreacional es de 21 meses y que la varianza del proyecto es de 4 meses.

(a) ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto se complete en 17 meses o menos?
(b) ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto se complete en 20 meses o menos?

(c) ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto se complete en 23 meses o menos?
(d) ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto se complete en 25 meses o menos?

11-21 El proyecto contra la contaminación del aire analizado en el capítulo ha continuado en las semanas recientes, y ahora está al final de la semana 8. Lester Harky desearía conocer el valor de los trabajos realizados, el importe de los sobrecostos o ahorros en el proyecto y el grado en el cual el proyecto está adelantado o atrasado con respecto al programa, mediante el desarrollo de una tabla similar a la tabla 11.8. Las cifras revisadas de costos se muestran en la siguiente tabla:

ACTIVIDAD	PORCENTAJE COMPLETADO	COSTO REAL ($)
A	100	20,000
B	100	36,000
C	100	26,000
D	100	44,000
E	50	25,000
F	60	15,000
G	10	5,000
H	10	1,000

11-22 Fred Ridgeway ha recibido la responsabilidad de administrar un programa de capacitación y desarrollo. Él conoce el tiempo de inicio más cercano, el tiempo de inicio más lejano y los costos totales de cada actividad. Esta información se da en la siguiente tabla.

(a) Usando los tiempos de inicio más cercanos, determine el presupuesto mensual total de Fred.
(b) Mediante los tiempos de inicio más lejanos, determine el presupuesto mensual total de Fred.

ACTIVIDAD	ES	LS	*t*	COSTO TOTAL (EN MILES DE $)
A	0	0	6	10
B	1	4	2	14
C	3	3	7	5
D	4	9	3	6
E	6	6	10	14
F	14	15	11	13
G	12	18	2	4
H	14	14	11	6
I	18	21	6	18
J	18	19	4	12
K	22	22	14	10
L	22	23	8	16
M	18	24	6	18

11-23 Los datos de la aceleración del proyecto de General Foundry se muestran en la tabla 11.9. Acelere este proyecto a 13 semanas utilizando CPM. ¿Cuáles son los tiempos finales para cada actividad después de la aceleración?

11-24 Bowman Builders fabrica cobertizos de almacenamiento hechos de acero para uso comercial. Joe Bowman, presidente de Bowman Builders, está contemplando la producción de cobertizos para uso doméstico. En la tabla adjunta, se proporcionan las actividades necesarias para construir un modelo experimental y los datos relacionados.

(a) ¿Cuál es la fecha de terminación del proyecto?
(b) Formule un problema de PL para acelerar este proyecto a 10 semanas.

ACTIVIDAD	TIEMPO NORMAL	TIEMPO ACELERADO	COSTO NORMAL ($)	COSTO ACELERADO ($)	PREDECESORES INMEDIATOS
A	3	2	1,000	1,600	—
B	2	1	2,000	2,700	—
C	1	1	300	300	—
D	7	3	1,300	1,600	*A*
E	6	3	850	1,000	*B*
F	2	1	4,000	5,000	*C*
G	4	2	1,500	2,000	*D, E*

11-25 La Bender Construction Co. está involucrada en la construcción de edificios municipales y otras estructuras que se utilizan principalmente por los gobiernos estatales y municipales. Para ello es necesario desarrollar documentos legales, elaborar estudios de factibilidad, obtener calificaciones de bonos, etcétera. Recientemente, Bender recibió una solicitud para presentar una propuesta para la construcción de un edificio municipal. El primer paso es desarrollar los documentos legales y llevar a cabo todos los pasos necesarios antes de firmar el contrato de construcción. Esto requiere más de 20 actividades diferentes que se deben completar. Las actividades, sus predecesores inmediatos y los requisitos de tiempo se presentan en la tabla 11.10 de la página siguiente.

Como se observa, se han dado las estimaciones de tiempo optimista (*a*), más probable (*m*) y pesimista (*b*) para todas las actividades descritas en la tabla. Con base en estos datos, determine el tiempo total para la terminación del proyecto en esta etapa preliminar, la ruta crítica y el tiempo de holgura para todas las actividades involucradas.

11-26 Conseguir un título universitario puede ser una tarea larga y difícil. Algunos cursos deben completarse antes de poder tomar otros. Desarrolle un diagrama de red, en el que cada actividad sea un curso en particular que debe tomarse para un programa de estudios determinado. Los predecesores inmediatos serán los prerrequisitos

TABLA 11.10 Datos para el problema 11-25, compañía Bender Construction

ACTIVIDAD	TIEMPO REQUERIDO (SEMANAS) *a*	*m*	*b*	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	PREDECESORES INMEDIATOS
1	1	4	5	Proyecto de los documentos legales	—
2	2	3	4	Preparación de los estados financieros	—
3	3	4	5	Proyecto de la historia	—
4	7	8	9	Proyecto de la parte de la demanda en el estudio de factibilidad	—
5	4	4	5	Revisión y aprobación de documentos legales	1
6	1	2	4	Revisión y aprobación de la historia	3
7	4	5	6	Revisión del estudio de factibilidad	4
8	1	2	4	Proyecto de la parte financiera final del estudio de factibilidad	7
9	3	4	4	Proyecto de los hechos relacionados con la transacción de bonos	5
10	1	1	2	Revisión y aprobación de los estados financieros	2
11	18	20	26	Recepción del precio firme del proyecto	—
12	1	2	3	Revisión y terminación de la parte financiera del estudio de factibilidad	8
13	1	1	2	Terminación de la declaración del proyecto	6, 9, 10, 11, 12
14	0.10	0.14	0.16	Todo el material enviado a los servicios de calificación de bonos	13
15	0.2	0.3	0.4	Declaración impresa y distribuida a todas las partes interesadas	14
16	1	1	2	Presentación a los servicios de calificación de bonos	14
17	1	2	3	Recepción de la calificación de bonos	16
18	3	5	7	Comercialización de bonos	15, 17
19	0.1	0.1	0.2	Contrato de compra ejecutado	18
20	0.1	0.14	0.16	Declaración final autorizada y terminada	19
21	2	3	6	Contrato de compra	19
22	0.1	0.1	0.2	Bonos disponibles	20
23	0	0.2	0.2	Contrato de construcción firmado	21, 22

del curso. No olvide incluir todos los requisitos de cursos de la universidad, la facultad y el departamento. A continuación, intente agrupar estos cursos en semestres o trimestres para su escuela específica. ¿Cuánto tiempo cree usted que le llevará graduarse? ¿Qué cursos, si no los toma en la secuencia apropiada, podrían retrasar su graduación?

11-27 Dream Team Productions estaba en las fases finales del diseño de su nueva película, *Gusanos Mutantes*, que se lanzará el próximo verano. Market Wise, la firma contratada para coordinar el lanzamiento de los juguetes de *Gusanos Mutantes*, identificó 16 tareas críticas que debían completarse antes del lanzamiento de la película.

(a) ¿Cuántas semanas antes del lanzamiento de la película debería Market Wise iniciar su campaña de marketing? ¿Cuáles son las actividades de la ruta crítica? Las tareas son las siguientes:

Tabla para el problema 11-27

ACTIVIDAD	PREDECESORES INMEDIATOS	TIEMPO OPTIMISTA	TIEMPO MÁS PROBABLE	TIEMPO PESIMISTA
Tarea 1	—	1	2	4
Tarea 2	—	3	3.5	4
Tarea 3	—	10	12	13
Tarea 4	—	4	5	7
Tarea 5	—	2	4	5
Tarea 6	Tarea 1	6	7	8
Tarea 7	Tarea 2	2	4	5.5
Tarea 8	Tarea 3	5	7.7	9
Tarea 9	Tarea 3	9.9	10	12
Tarea 10	Tarea 3	2	4	5
Tarea 11	Tarea 4	2	4	6
Tarea 12	Tarea 5	2	4	6
Tarea 13	Tareas 6, 7, 8	5	6	6.5
Tarea 14	Tareas 10, 11, 12	1	1.1	2
Tarea 15	Tareas 9, 13	5	7	8
Tarea 16	Tarea 14	5	7	9

(b) Si las tareas 9 y 10 no fueran necesarias, ¿qué impacto tendría esto en la ruta crítica y en el número de semanas necesario para completar la campaña de marketing?

11-28 En la siguiente tabla, se dan los tiempos estimados (en semanas) y los predecesores inmediatos para las actividades de un proyecto. Suponga que los tiempos de las actividades son independientes.

ACTIVIDAD	PREDECESORES INMEDIATOS	*a*	*m*	*b*
A	—	9	10	11
B	—	4	10	16
C	*A*	9	10	11
D	*B*	5	8	11

(a) Calcule el tiempo esperado y la varianza para cada actividad.
(b) ¿Cuál es el tiempo de terminación esperado de la ruta crítica? ¿Cuál es el tiempo de terminación esperado de la otra ruta en la red?
(c) ¿Cuál es la varianza de la ruta crítica? ¿Cuál es la varianza de la otra ruta en la red?
(d) Si el tiempo para completar la ruta *A-C* se distribuye normalmente, ¿cuál es la probabilidad de que esta ruta se termine en 22 semanas o menos?
(e) Si el tiempo para completar la ruta *B-D* tiene una distribución normal, ¿cuál es la probabilidad de que esta ruta se termine en 22 semanas o menos?
(f) Explique por qué la probabilidad de que la ruta crítica se termine en 22 semanas o menos no necesariamente sea la probabilidad de que el proyecto termine en 22 semanas o menos.

11-29 Se han estimado los siguientes costos para las actividades de un proyecto:

ACTIVIDAD	PREDECESORES INMEDIATOS	TIEMPO	COSTO ($)
A	—	8	8,000
B	—	4	12,000
C	*A*	3	6,000
D	*B*	5	15,000
E	*C, D*	6	9,000
F	*C, D*	5	10,000
G	*F*	3	6,000

(a) Desarrolle un programa de costos basado en los tiempos de inicio más cercanos.
(b) Desarrolle un programa de costos basado en los tiempos de inicio más lejanos.
(c) Suponga que se ha determinado que los $6,000 para la actividad *G* no se distribuyen uniformemente en las tres semanas. En realidad, el costo para la primera semana es de $4,000, y el costo es de $1,000 para cada una de las últimas dos semanas. Modifique el programa de costos basado en los tiempos de inicio más cercanos para reflejar esta situación.

11-30 La empresa de contabilidad Scott Corey está instalando un nuevo sistema computacional. Es necesario hacer varias actividades para asegurar que el sistema funcione correctamente antes de introducir todas las cuentas en el nuevo sistema. La siguiente tabla presenta información acerca del proyecto. ¿Cuánto tiempo tomará instalar el sistema? ¿Cuál es la ruta crítica?

ACTIVIDAD	PREDECESORES INMEDIATOS	TIEMPO (SEMANAS)
A	—	3
B	—	4
C	*A*	6
D	*B*	2
E	*A*	5
F	*C*	2
G	*D, E*	4
H	*F, G*	5

11-31 El socio gerente de la firma de contabilidad de Scott Corey (vea el problema 11-30) ha decidido que el sistema debe estar en funcionamiento en 16 semanas. Por consiguiente, se elaboró la información sobre la aceleración del proyecto que se muestra en la siguiente tabla:

ACTIVIDAD	PREDECESORES INMEDIATOS	TIEMPO NORMAL (SEMANAS)	TIEMPO ACELERADO (SEMANAS)	COSTO NORMAL ($)	COSTO ACELERADO ($)
A	—	3	2	8,000	9,800
B	—	4	3	9,000	10,000
C	*A*	6	4	12,000	15,000
D	*B*	2	1	15,000	15,500
E	*A*	5	3	5,000	8,700
F	*C*	2	1	7,500	9,000
G	*D, E*	4	2	8,000	9,400
H	*F, G*	5	3	5,000	6,600

(a) Si el proyecto debe terminarse en 16 semanas, ¿qué actividad o actividades debería(n) acelerarse para lograrlo al menor costo adicional? ¿Cuál es el costo total de esto?
(b) Liste todas las rutas en esta red. Después de realizar la aceleración del inciso (a), ¿cuál es el tiempo requerido para cada ruta? Si el tiempo de terminación del proyecto debe reducirse otra semana para que el tiempo total sea de 15 semanas, ¿qué actividad o actividades deberían acelerarse? Resuelva esto por inspección. Considere que a veces es mejor acelerar una actividad que no tiene el menor costo de aceleración si está en varias rutas, en vez de acelerar varias actividades en rutas separadas cuando hay más de una ruta crítica.

11-32 La corporación L. O. Gystics tiene necesidad de un nuevo centro de distribución regional. La planeación está en las primeras etapas de este proyecto, pero se han identificado las actividades junto con sus predecesores y sus tiempos de

actividad en semanas. La siguiente tabla presenta esta información. Desarrolle un programa lineal que pueda usarse para determinar la longitud de la ruta crítica (es decir, el tiempo mínimo requerido para completar el proyecto). Resuelva este programa lineal para encontrar la ruta crítica y el tiempo necesario para completar el proyecto.

ACTIVIDAD	PREDECESORES INMEDIATOS	TIEMPO (SEMANAS)
A	—	4
B	—	8
C	*A*	5
D	*B*	11
E	*A, B*	7
F	*C, E*	10
G	*D*	16
H	*F*	6

11-33 La corporación Laurenster necesita realizar las siguientes tareas en semanas.

ACTIVIDAD	PREDECESORES INMEDIATOS	TIEMPO OPTIMISTA	TIEMPO MÁS PROBABLE	TIEMPO PESIMISTA
A		2	3	4
B		4	6	8
C		2	5	8
D	*A*	3	4	5
E	*B*	6	7	8
F	*C*	4	7	10
G	*A*	1	5	9
H	*B*	2	5	8
I	*C*	3	5	7
J	*D, G*	2	2	2
K	*E, H*	4	4	4
L	*F, I*	3	3	3

Determine el diagrama de la red PERT asociada y determine la probabilidad de que el proyecto se complete en 16 semanas o menos.

11-34 La corporación Laurenster ha determinado que el cliente les pague un bono de $10,000 si termina el proyecto del problema 11-33 en 14 semanas o menos. A continuación se muestran los tiempos normales y sus costos asociados, así como los tiempos acelerados y sus costos.

ACTIVIDAD	TIEMPO NORMAL	TIEMPO ACELERADO	COSTO NORMAL ($)	COSTO ACELERADO ($)
A	3	2	600	1,200
B	6	4	1,200	2,400
C	5	2	1,200	2,400
D	4	3	1,200	1,800
E	7	6	1,200	1,800
F	7	4	1,200	3,000
G	5	1	2,400	4,800
H	5	2	1,200	3,000
I	5	3	1,800	2,400
J	2	2	300	300
K	4	4	300	300
L	3	3	300	300

Teniendo en cuenta los costos involucrados por acelerar el proyecto, determine si la corporación Laurenster debería acelerar el proyecto a 14 semanas para recibir el bono.

Estudio de caso

Construcción del estadio de la Southwestern University

Después de seis meses de estudio, mucho forcejeo político y algún análisis financiero serio, el Dr. Martin Starr, presidente de la Southwestern University, había llegado a una decisión. Para el deleite de sus alumnos y para decepción de sus impulsores atléticos, el fútbol americano de la SWU no se trasladaría a una nueva ubicación, sino que se ampliaría la capacidad de su estadio en el campus.

La adición de 21,000 asientos, incluyendo docenas de palcos de lujo, no sería del agrado de todos. El influyente entrenador del equipo de fútbol americano, Billy Bob Taylor, había sostenido durante mucho tiempo la necesidad de un estadio de primera clase, con habitaciones compartidas integradas para sus jugadores y una oficina palaciega adecuada para el entrenador de un futuro equipo campeón de la

TABLA 11.11 Proyecto del estadio de la Southwestern University

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PREDECESORES	ESTIMACIONES DE TIEMPO (DÍAS) OPTIMISTA	MÁS PROBABLE	PESIMISTA	COSTO ACELERADO/DÍA ($)
A	Fondeo, seguros, estructuración fiscal	—	20	30	40	1,500
B	Cimientos, zapatas de concreto para palcos	*A*	20	65	80	3,500
C	Modernización de palcos y asientos en el estadio	*A*	50	60	100	4,000
D	Modernización de pasarelas, escaleras y ascensores	*C*	30	50	100	1,900
E	Cableado interior, tornos	*B*	25	30	35	9,500
F	Aprobaciones de inspección	*E*	1	1	1	0
G	Plomería	*D, E*	25	30	35	2,500
H	Pintura	*G*	10	20	30	2,000
I	Equipamiento/aire acondicionado/ trabajos con metal	*H*	20	25	60	2,000
J	Mosaicos/alfombras/ventanas	*H*	8	10	12	6,000
K	Inspección	*J*	1	1	1	0
L	Detalles finales/limpieza	*I, K*	20	25	60	4,500

Fuente: Adaptado de J. Heizer y B. Render. *Operations Management*, 6a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000: 693 a 694.

NCAA. Pero la decisión estaba tomada, y todos, incluido el entrenador, tendrían que aprender a vivir con ello.

El trabajo ahora era lograr que la construcción comenzara inmediatamente después de que concluyera la temporada actual. Esto daría exactamente 270 días hasta el próximo juego de apertura de temporada. El contratista, Hill Construction (Bob Hill era un ex alumno, por supuesto), firmó el contrato. Bob Hill observó las tareas que sus ingenieros habían bosquejado y miró al presidente Starr directamente a los ojos. "Le garantizo que el equipo podrá saltar al campo en la fecha prevista el próximo año", dijo con una sensación de confianza. "Por supuesto, así lo espero", respondió Starr. "La penalización de $10,000 por día de atraso, establecida en el contrato, no es nada comparada con lo que el entrenador Bill Bob Taylor les hará, si nuestro primer partido contra Penn State se retrasa o se cancela". Hill sudaba un poco y no respondió. En el estado de Texas, fanático del fútbol americano, Hill Construction estaría acabada si no cumplía con el plazo de 270 días.

De regreso en su oficina, Hill nuevamente revisó los datos. (Vea la tabla 11.11 y notó que las estimaciones de tiempo optimistas podían usarse como tiempos acelerados). Luego reunió a sus jefes de proyecto. "Señores, si no estamos 75% seguros de que terminaremos este estadio en menos de 270 días, ¡quiero que este proyecto se acelere! Denme las cifras de costos para una fecha límite de 250 días —también para una de 240 días—. ¡Quiero terminar *antes*, no justo a tiempo!"

Preguntas para análisis

1. Desarrolle un dibujo de la red para Hill Construction y determine la ruta crítica. ¿Cuánto tiempo se espera que dure el proyecto?
2. ¿Cuál es la probabilidad de terminar en 270 días?
3. Si fuera necesario acelerar a 250 o a 240 días, ¿cómo podría hacerlo Hill, y a qué costos? Como se señaló en el caso, se supone que las estimaciones de tiempo optimistas se pueden utilizar como los tiempos acelerados.

Estudio de caso

Centro de Investigación sobre Planificación Familiar en Nigeria

El Dr. Adinombe Watage, subdirector del Centro de Investigación sobre Planificación Familiar en la provincia Over-The-River, Nigeria, recibió el encargo de organizar y capacitar a cinco equipos de trabajadores de campo para llevar a cabo actividades educativas y de difusión, como parte de un gran proyecto para demostrar la aceptación de un nuevo método de control de la natalidad. Estos trabajadores ya tenían capacitación en educación para la planificación familiar, pero debían recibir una formación específica sobre el nuevo método de anticoncepción. También tenían que prepararse dos tipos de materiales: **1.** los que se usarían en la capacitación de los trabajadores, y **2.** los que se distribuirían en campo. Los capacitadores deberían trasladarse al sitio y era necesario tomar las disposiciones para el transporte y el alojamiento de los participantes.

Primero, el Dr. Watage convocó a una reunión de su personal en su oficina. Juntos identificaron las actividades que se llevarían a cabo,

TABLA 11.12 Actividades del Centro de Investigación sobre Planificación Familiar

ACTIVIDAD	DEBE SEGUIR	TIEMPO (DÍAS)	PERSONAL NECESARIO
A. Identificar a los capacitadores y sus horarios	—	5	2
B. Organizar el transporte a la base	—	7	3
C. Identificar y recoger los materiales de capacitación	—	5	2
D. Disponer los alojamientos	*A*	3	1
E. Identificar el equipo	*A*	7	4
F. Trasladar el equipo	*B, E*	2	1
G. Transportar a los capacitadores a la base	*A, B*	3	2
H. Imprimir el material del programa	*C*	10	6
I. Entregar los materiales del programa	*H*	7	3
J. Conducir el programa de capacitación	*D, F, G, I*	15	0
K. Realizar la capacitación del trabajo en campo	*J*	30	0

TABLA 11.13 Costos del Centro de Investigación sobre Planificación Familiar

	NORMAL		MÍNIMO		COSTO
ACTIVIDAD	TIEMPO	COSTO ($)	TIEMPO	COSTO ($)	PROMEDIO POR DÍA AHORRADO ($)
A. Identificar a los capacitadores	5	400	2	700	100
B. Organizar el transporte	7	1,000	4	1,450	150
C. Identificar materiales	5	400	3	500	50
D. Disponer alojamientos	3	2,500	1	3,000	250
E. Identificar el equipo	7	400	4	850	150
F. Trasladar el equipo	2	1,000	1	2,000	1,000
G. Transportar a los capacitadores	3	1,500	2	2,000	500
H. Imprimir materiales	10	3,000	5	4,000	200
I Entregar materiales	7	200	2	600	80
J. Capacitar al equipo	15	5,000	10	7,000	400
K. Realizar trabajo en campo	30	10,000	20	14,000	400

sus secuencias necesarias y el tiempo que requerirían. Sus resultados se muestran en la tabla 11.12.

Louis Odaga, el oficial mayor, señaló que el proyecto debía terminarse en 60 días. Sacó rápidamente su calculadora de energía solar y sumó el tiempo necesario. Llegó a 94 días. "Entonces, es una tarea imposible", señaló. "No", respondió el Dr. Watage, "algunas de estas tareas pueden hacerse en paralelo". "Pero, tenga cuidado", advirtió el Sr. Oglagadu, el jefe de enfermeros, "no somos tantos para ir a todos lados. En esta oficina únicamente somos 10".

"Podré comprobar si tenemos suficientes cabezas y manos cuando haya programado tentativamente las actividades", respondió el Dr. Watage. "Si el calendario es muy apretado, tengo permiso del Fondo Pathminder de usar algunos fondos para acelerarlo, siempre que pueda probar que se puede hacer al menor costo posible. ¿Pueden ayudarme a probarlo? Les presento los costos de las actividades, con el tiempo transcurrido que hemos planeado y los costos y tiempos, si los acortamos a un mínimo absoluto". Estos datos se presentan en la tabla 11.13.

Preguntas para análisis

1. Algunas de las tareas de este proyecto se pueden realizar en paralelo. Prepare un diagrama que muestre la red de tareas requerida y defina la ruta crítica. ¿Cuál es la duración del proyecto sin acelerarlo?
2. En este punto, ¿puede realizarse el proyecto, considerando la restricción de sólo 10 personas en el personal?
3. Si la ruta crítica es mayor a 60 días, ¿cuál es la menor cantidad que el Dr. Watage puede gastar y aun así cumplir con este objetivo del programa? ¿Cómo puede probar a la Fundación Pathminder que ésta es la alternativa de costo mínimo?

Fuente: Profesor Curtis P. McLaughlin, Kenan-Flagler Business School, University of North Carolina en Chapel Hill.

Estudios de caso en Internet

Visite nuestra página en Internet, **www.pearsonenespañol.com/render**, y consulte estos estudios de caso adicionales:

(1) **Alfa Beta Gamma Record:** Se refiere a la publicación de una revista mensual para una fraternidad.

(2) **Hospital Bay Community:** Presenta la adquisición e instalación de equipos que se utilizarán en un nuevo procedimiento médico.

(3) **Compañía Cranston Construction:** Se refiere a la construcción de un nuevo edificio en una universidad.

(4) **Compañía Haygood Brothers Construction:** Presenta la planeación de la construcción de una casa.

(5) **Compañía Shale Oil:** Se refiere a la planeación del cierre de una planta petroquímica para darle mantenimiento rutinario.

Bibliografía

Ahuja, V. y V. Thiruvengadam. "Project Scheduling and Monitoring: Current Research Status", *Construction Innovation* 4, 1 (2004): 19-31.

Griffith, Andrew F. "Scheduling Practices and Project Success", *Cost Engineering* 48, 9 (2006): 24-30.

Herroelen, Willy y Roel Leus. "Project Scheduling Under Uncertainty: Survey and Research Potentials", *European Journal of Operational Research* 165, 2 (2005): 289-306.

Jorgensen, Trond y Stein W. Wallace. "Improving Project Cost Estimation by Taking into Account Managerial Flexibility", *European Journal of Operational Research* 127, 2 (2000): 239-251.

Lancaster, John y Mustafa Ozbayrak. "Evolutionary Algorithms Applied to Project Scheduling Problems—A Survey of the State-of-the-art", *International Journal of Production Research* 45, 2 (2007): 425-450.

Lu, Ming y Heng Li. "Resource-Activity Critical-Path Method for Construction Planning", *Journal of Construction Engineering & Management* 129, 4 (2003): 412-420.

Mantel, Samuel J., Jack R. Meredith, Scott M. Shafer y Margaret M. Sutton. *Project Management in Practice*. Nueva York: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

Premachandra, I. M. "An Approximation of the Activity Duration Distribution in PERT", *Computers and Operations Research* 28, 5 (abril de 2001): 443-452.

Roe, Justin. "Bringing Discipline to Project Management", *Harvard Business Review* (abril de 1998): 153-160.

Sander, Wayne. "The Project Manager's Guide", *Quality Progress* (enero de 1998): 109.

Vaziri, Kabeh, Paul G. Carr y Linda K. Nozick. "Project Planning for Construction under Uncertainty with Limited Resources", *Journal of Construction Engineering & Management* 133, 4 (2007): 268-276.

Walker II, Edward D. "Introducing Project Management Concepts Using a Jewelry Store Robbery", *Decision Sciences Journal of Innovative Education* 2, 1 (2004): 65-69.

Apéndice 11.1: Gestión de proyectos con QM para Windows

PERT es una de las técnicas más populares para la gestión de proyectos. En este capítulo, se explora el ejemplo de la General Foundry, Inc. Cuando se han calculado los tiempos esperados y las varianzas de cada actividad, podemos utilizar los datos para determinar la holgura, la ruta crítica y el tiempo total de terminación del proyecto. El programa 11.3A muestra la pantalla de entrada en QM para Windows para el problema de General Foundry. Al seleccionar la lista de precedencia como el tipo de red, los datos se pueden introducir sin siquiera construir la red. El método indicado es para tres estimaciones de tiempo, aunque esto se puede cambiar a una sola estimación, aceleración o presupuesto de costos. El programa 11.3B proporciona la salida para el problema de General Foundry. La ruta crítica consta de las actividades con holgura cero.

Además de la gestión básica de proyectos, QM para Windows también permite acelerar proyectos, donde se utilizan recursos adicionales para reducir el tiempo de terminación del proyecto. El programa 11.4A muestra la pantalla de introducción con los datos de General Foundry de la tabla 11.9. La salida se muestra en el programa de 11.4B. Ésta indica que el tiempo normal es de 15 semanas, pero el proyecto se terminaría en 7 semanas si es necesario; puede terminarse en cualquier número de semanas entre 7 y 15. Al seleccionar *Windows—Crash Schedule* se obtiene información adicional con respecto a estos otros tiempos.

El seguimiento y control de los proyectos es siempre un aspecto importante de la gestión de proyectos. En este capítulo se muestra cómo construir presupuestos utilizando los tiempos de inicio más cercanos y más lejanos. Los programas 11.5 y 11.6 muestran cómo puede usarse QM para Windows para desarrollar presupuestos utilizando los tiempos de inicio más cercanos y más lejanos de un proyecto. Los datos provienen del ejemplo de General Foundry en las tablas 11.6 y 11.7.

PROGRAMA 11.3A

Pantalla de entrada en QM para Windows para General Foundry, Inc.

Network type: Immediate predecessor list — Method: Triple time estimate

PERT Example

Activity	Optimistic time	Most Likely time	Pessimistic time	Predecessor 1	Predecessor 2
A	1	2	3		
B	2	3	4		
C	1	2	3	A	
D	2	4	6	B	
E	1	4	7	C	
F	1	2	9	C	
G	3	4	11	D	E
H	1	2	3	F	G

PROGRAMA 11.3B

Pantalla de solución en QM para Windows para General Foundry, Inc.

Project Management (PERT/CPM) Results

PERT Example Solution

Activity	Activity time	Early Start	Early Finish	Late Start	Late Finish	Slack	Standard Deviation
Project	15						1.76
A	2	0	2	0	2	0	0.33
B	3	0	3	1	4	1	0.33
C	2	2	4	2	4	0	0.33
D	4	3	7	4	8	1	0.67
E	4	4	8	4	8	0	1
F	3	4	7	10	13	6	1.33
G	5	8	13	8	13	0	1.33
H	2	13	15	13	15	0	0.33

PROGRAMA 11.4A

Pantalla de entrada en QM para Windows para el ejemplo de aceleración de General Foundry

Network type: Immediate predecessor list — Method: Crashing

General Foundry

Activity	Normal time	Crash time	Normal Cost	Crash Cost	Predecessor 1	Predecessor 2
A	2	1	22,000	23,000		
B	3	1	30,000	34,000		
C	2	1	26,000	27,000	A	
D	4	3	48,000	49,000	B	
E	4	2	56,000	58,000	C	
F	3	2	30,000	30,500	C	
G	5	2	80,000	86,000	D	E
H	2	1	16,000	19,000	F	G

PROGRAMA 11.4B

Pantalla de salida en QM para Windows para el ejemplo de aceleración de General Foundry

General Foundry Solution

Activity	Normal time	Crash time	Normal Cost	Crash Cost	Crash cost/pd	Crash by	Crashing cost
Project	15	7					
A	2	1	22,000	23,000	1,000	1	1,000
B	3	1	30,000	34,000	2,000	2	4,000
C	2	1	26,000	27,000	1,000	1	1,000
D	4	3	48,000	49,000	1,000	1	1,000
E	4	2	56,000	58,000	1,000	2	2,000
F	3	2	30,000	30,500	500	0	0
G	5	2	80,000	86,000	2,000	3	6,000
H	2	1	16,000	19,000	3,000	1	3,000
TOTALS			308,000				18,000

PROGRAMA 11.5

Presupuesto en QM para Windows con los tiempos de inicio más cercanos de General Foundry

Early Start Budget — General Foundry Solution

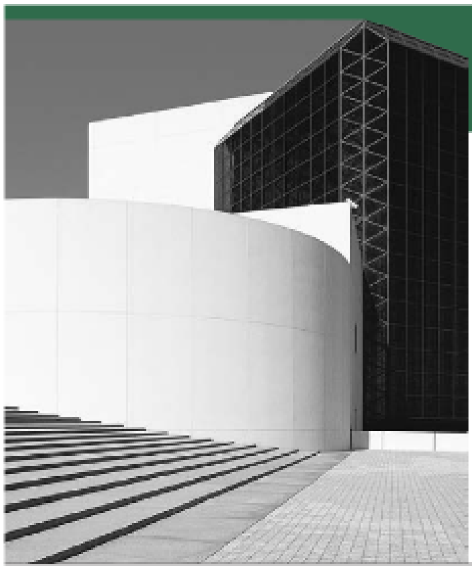
	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6	Period 7	Period 8	Period 9	Period 10	Period 11	Period 12	Period 13	Period 14	Period 15
A	11	11													
B	10	10	10												
C			13	13											
D				12	12	12	12								
E					14	14	14	14							
F					10	10	10								
G									16	16	16	16	16		
H														8	8
Total in Period	21	21	23	25	36	36	36	14	16	16	16	16	16	8	8
Cumulative from	21	42	65	90	126	162	198	212	228	244	260	276	292	300	308

PROGRAMA 11.6

Presupuesto en QM para Windows con los tiempos de inicio más lejanos de General Foundry

Late Start Budget — General Foundry Solution

	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6	Period 7	Period 8	Period 9	Period 10	Period 11	Period 12	Period 13	Period 14	Period 15
A	11	11													
B		10	10	10											
C			13	13											
D					12	12	12	12							
E					14	14	14	14							
F											10	10	10		
G									16	16	16	16	16		
H														8	8
Total in Period	11	21	23	23	26	26	26	26	16	16	26	26	26	8	8
Cumulative from	11	32	55	78	104	130	156	182	198	214	240	266	292	300	308



CAPÍTULO 12

Modelos de líneas de espera y teoría de colas

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de estudiar este capítulo, el alumno será capaz de:

1. Describir las curvas de compensación para el costo del tiempo de espera y el costo del servicio.
2. Entender las tres partes de un sistema de colas: la población potencial, la cola en sí misma y la instalación de servicio.
3. Describir las configuraciones básicas de un sistema de colas.
4. Comprender los supuestos de los modelos comunes estudiados en este capítulo.
5. Analizar las diversas características del funcionamiento de las líneas de espera.

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

12.1 Introducción

12.2 Costos de las líneas de espera

12.3 Características de un sistema de colas

12.4 Modelo de colas con un solo canal, llegadas de Poisson y tiempos de servicio exponenciales (*M*/*M*/1)

12.5 Modelo de colas con múltiples canales, llegadas de Poisson y tiempos de servicio exponenciales (*M*/*M*/*m*)

12.6 Modelo con tiempo de servicio constante (*M*/*D*/1)

12.7 Modelo de población finita (*M*/*M*/1 con fuente finita)

12.8 Algunas relaciones características generales de funcionamiento

12.9 Modelos de colas más complejos y el uso de la simulación

Resumen • Glosario • Ecuaciones clave • Problemas resueltos • Autoevaluación • Preguntas para análisis y problemas • Estudio de caso: New England Foundry • Estudio de caso: Winter Park Hotel • Estudio de caso en Internet • Bibliografía

Apéndice 12.1: Uso de QM para Windows

La simulación, el tema del capítulo 13, es una técnica en la cual se utilizan números aleatorios para obtener conclusiones acerca de las distribuciones de probabilidad (por ejemplo, las llegadas y los servicios). Con este enfoque, es posible desarrollar muchas horas, días o meses de datos por medido de una computadora en pocos segundos. Esto permite el análisis de los factores controlables, como la adición de otro canal de servicio, sin llegar a hacerlo de manera física. Básicamente, siempre que un modelo analítico de colas estándar presenta una aproximación deficiente al sistema de servicio real, es razonable desarrollar un modelo de simulación en su lugar.

Resumen

Las líneas de espera y los sistemas de servicios son partes importantes del mundo de los negocios. En este capítulo se describen varias situaciones comunes de colas y se presentan modelos matemáticos para analizar líneas de espera que siguen ciertos supuestos. Esos supuestos son que **1.** las llegadas provienen de una población infinita o muy grande, **2.** las llegadas tienen una distribución de Poisson, **3.** las llegadas son atendidas de manera FIFO y no rechazan ni renuncian, **4.** los tiempos de servicio siguen una distribución exponencial negativa o son constantes y **5.** la tasa promedio de servicio es más rápida que la tasa promedio de llegada.

Los modelos presentados en este capítulo son para problemas de un solo canal, de una fase y de una fase con múltiples canales. Después de calcular una serie de características de funcionamiento, se estudian los costos esperados totales. Como se muestra gráficamente en la figura 12.1, el costo total es la suma del costo de la prestación del servicio más el costo del tiempo de espera.

Se mostró que las características operativas clave para un sistema son **1.** la tasa de utilización, **2.** el porcentaje de tiempo inactivo, **3.** el tiempo promedio pasado en espera en el sistema y en la cola, **4.** el número promedio de clientes en el sistema y en la cola y **5.** las probabilidades de varios números de clientes en el sistema.

El capítulo enfatiza que existe una gran variedad de modelos de colas que no cumplen todos los supuestos de los modelos tradicionales. En tales casos, se utilizan modelos matemáticos más complejos o recurrimos a una técnica denominada simulación por computadora. En el capítulo 13 se estudia la aplicación de la simulación a problemas de sistemas de colas, control de inventarios, averías de máquinas y otras situaciones de análisis cuantitativo.

Glosario

Características de funcionamiento Características descriptivas de un sistema de colas, incluyendo el número promedio de clientes en una línea y en el sistema, los tiempos de espera promedio en una línea y en el sistema, y el porcentaje de tiempo inactivo.

Costo de espera Costo en el que incurre una compañía por tener clientes u objetos en espera de ser atendidos en la cola o en el sistema.

Costo del servicio El costo de proporcionar un determinado nivel de servicio.

Disciplina de cola Una regla mediante la cual los clientes en una línea de espera reciben el servicio.

Distribución de Poisson Una distribución de probabilidad que se utiliza a menudo para describir las llegadas aleatorias a una cola.

Distribución de probabilidad exponencial negativa Una distribución de probabilidad que se utiliza con frecuencia para describir los tiempos de servicio aleatorios en un sistema de servicio.

Ecuaciones de flujo de Little Un conjunto de relaciones existentes para cualquier sistema de colas en un estado estacionario.

Estado estacionario La condición de funcionamiento normal, estabilizado de un sistema de colas.

Estado transitorio La condición inicial de un sistema de colas antes de alcanzar un estado estacionario.

Factor de utilización (ρ) Proporción del tiempo que las instalaciones de servicio están en uso.

FIFO Una disciplina de cola (significa primero en entrar, primero en salir) donde se da el servicio a los clientes en estricto orden de llegada.

Línea de espera (cola) Uno o más clientes u objetos en espera de ser atendidos.

Longitud de cola ilimitada Una cola que puede aumentar hasta un tamaño infinito.

Longitud de cola limitada Una línea de espera que no puede aumentar más allá de un tamaño específico.

***M/D/*1** Notación Kendall para el modelo del tiempo de servicio constante.

***M/M/*1** Notación Kendall para el modelo de un solo canal con llegadas de Poisson y tiempos de servicio exponenciales.

M/M/m Notación Kendall para un modelo de colas con múltiples canales (con *m* servidores), llegadas de Poisson y tiempos de servicio exponenciales.

Notación Kendall Un método de clasificación de los sistemas de colas basado en la distribución de llegadas, la distribución de los tiempos de servicio y el número de canales de servicio.

Población ilimitada o infinita Una población potencial que es muy grande en relación con el número de clientes que están actualmente en el sistema.

Población limitada o finita Un caso en el cual el número de clientes en el sistema es una proporción significativa de la población potencial.

Población potencial La población de elementos de donde provienen las llegadas al sistema de colas.

Rechazo El caso en el que los clientes que llegan se niegan a unirse a la línea de espera.

Renuncia El caso en el cual los clientes entran a una cola, pero luego se van antes de ser atendidos.

Sistema con múltiples fases Un sistema donde se recibe servicio en más de una estación, una después de la otra.

Sistema de colas con múltiples canales Un sistema que tiene más de una instalación de servicio, todo alimentado por una sola cola.

Sistema de un solo canal Un sistema con una instalación de servicio alimentada por una cola.

Sistema de una fase Un sistema de colas en el cual se recibe servicio en una sola estación.

Teoría de colas El estudio matemático de las líneas de espera o colas.

Ecuaciones clave

λ = número promedio de llegadas por periodo de tiempo

μ = número promedio de personas o elementos atendidos por periodo de tiempo

Las ecuaciones 12-1 a 12-7 describen las características de funcionamiento en el modelo de un solo canal que tiene llegadas de Poisson y tasas de servicio exponenciales.

(12-1) L = número promedio de unidades (clientes) en el sistema.

$$= \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

(12-2) W = tiempo promedio que pasa una unidad en el sistema (Tiempo de espera + Tiempo de servicio)

$$= \frac{1}{\mu - \lambda}$$

(12-3) L_q = número promedio de unidades en la cola

$$= \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

(12-4) Wq = tiempo promedio que pasa una unidad esperando en la cola

$$= \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

(12-5) ρ = factor de utilización para el sistema $= \frac{\lambda}{\mu}$

(12-6) P_0 = probabilidad de 0 unidades en el sistema (es decir, la unidad de servicio está inactiva)

$$= 1 - \frac{\lambda}{\mu}$$

(12-7) $P_{n>k}$ = probabilidad de más de k unidades en el sistema

$$= \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{k+1}$$

Las ecuaciones 12-8 a 12-12 se utilizan para encontrar los costos de un sistema de colas.

(12-8) Costo del servicio total $= mC_s$

donde

m = número de canales

C_s = costo del servicio (costo de mano de obra) en cada canal

(12-9) Costo de espera total por periodo de tiempo $= (\lambda W)C_w$

C_w = costo de espera

Costo del tiempo de espera con base en el tiempo en el sistema.

(12-10) Costo de espera total por periodo de tiempo $= (\lambda W_q)C_w$

Costo del tiempo de espera con base en el tiempo en la cola.

(12-11) Costo total $= mC_s + \lambda W C_w$

Costo del tiempo de espera con base en el tiempo en el sistema.

(12-12) Costo total $= mC_s + \lambda W_q C_w$

Costo del tiempo de espera con base en el tiempo en la cola.

Las ecuaciones 12-13 a 12-18 describen las características de funcionamiento en los modelos con múltiples canales que tienen llegadas de Poisson y tasas de servicio exponenciales, donde m *= número de canales abiertos.*

(12-13) $$P_0 = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{n=m-1} \frac{1}{n!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n\right] + \frac{1}{m!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^m \frac{m\mu}{m\mu - \lambda}}$$

para $m\mu > \lambda$

Probabilidad de que no haya personas o unidades en el sistema.

(12-14) $$L = \frac{\lambda\mu(\lambda/\mu)^m}{(m-1)!(m\mu - \lambda)^2} P_0 + \frac{\lambda}{\mu}$$

Número promedio de personas o unidades en el sistema.

(12-15) $$W = \frac{\mu(\lambda/\mu)^m}{(m-1)!(m\mu - \lambda)^2} P_0 + \frac{1}{\mu} = \frac{L}{\lambda}$$

Tiempo promedio que pasa una unidad en la línea de espera o siendo atendida (es decir, en el sistema).

(12-16) $$L_q = L - \frac{\lambda}{\mu}$$

Número promedio de personas o unidades en la línea esperando el servicio.

(12-17) $$W_q = W - \frac{1}{\mu} = \frac{L_q}{\lambda}$$

Tiempo promedio que una persona o unidad pasa en la cola esperando el servicio.

(12-18) $$\rho = \frac{\lambda}{m\mu}$$

Tasa de utilización.

Las ecuaciones 12-19 a 12-22 describen las características de funcionamiento de los modelos de un solo canal que tienen llegadas de Poisson y tasas de servicio constantes.

(12-19) $L_q = \dfrac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)}$

Longitud promedio de la cola.

(12-20) $W_q = \dfrac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)}$

Tiempo de espera promedio en la cola.

(12-21) $L = L_q + \dfrac{\lambda}{\mu}$

Número promedio de clientes en el sistema.

(12-22) $W = W_q + \dfrac{1}{\mu}$

Tiempo de espera promedio en el sistema.

Las ecuaciones 12-23 a 12-28 describen las características de funcionamiento de los modelos de un solo canal que tienen llegadas de Poisson y tasas de servicio exponenciales y una población potencial finita.

(12-23) $P_0 = \dfrac{1}{\sum_{n=0}^{N} \dfrac{N!}{(N-n)!}\left(\dfrac{\lambda}{\mu}\right)^n}$

Probabilidad de que el sistema esté vacío.

(12-24) $L_q = N - \left(\dfrac{\lambda + \mu}{\lambda}\right)(1 - P_0)$

Longitud promedio de la cola.

(12-25) $L = L_q + (1 - P_0)$

Número promedio de unidades en el sistema.

(12-26) $W_q = \dfrac{L_q}{(N - L)\lambda}$

Tiempo promedio en la cola.

(12-27) $W = W_q + \dfrac{1}{\mu}$

Tiempo promedio en el sistema.

(12-28) $P_n = \dfrac{N!}{(N-n)!}\left(\dfrac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 \quad \text{para } n = 0, 1, \ldots, N$

Probabilidad de n unidades en el sistema.

Las ecuaciones 12-29 a 12-31 son las ecuaciones de flujo de Little, que pueden utilizarse cuando existe una condición de estado estacionario.

(12-29) $L = \lambda W$

(12-30) $L_q = \lambda W_q$

(12-31) $W = W_q + 1/\mu$

Problemas resueltos

Problema resuelto 12-1

La tienda Maitland Furniture recibe un promedio de 50 clientes por turno. La gerente de Maitland quiere calcular si debería contratar a 1, 2, 3 o 4 vendedores. Ella determinó que el tiempo de espera promedio será de 7 minutos con 1 vendedor, 4 minutos con 2 vendedores, 3 minutos con 3 vendedores y 2 minutos con 4 vendedores. También estimó que el costo por minuto que los clientes esperan es de $1. El costo por vendedor por turno (incluyendo prestaciones) es de $70.

¿Cuántos vendedores deberían contratarse?

Solución

Los cálculos de la gerente son los siguientes:

	NÚMERO DE VENDEDORES			
	1	2	3	4
(a) Número promedio de clientes por turno	50	50	50	50
(b) Tiempo de espera promedio por cliente (minutos)	7	4	3	2
(c) Tiempo de espera total por turno ($a \times b$) (minutos)	350	200	150	100
(d) Costo por minuto de tiempo de espera (estimado)	$1.00	$1.00	$1.00	$1.00
(e) Valor del tiempo perdido ($c \times d$) por turno	$ 350	$ 200	$ 150	$ 100
(f) Costo salarial por turno	$ 70	$ 140	$ 210	$ 280
(g) Costo total por turno	$ 420	$ 340	$ 360	$ 380

Debido a que el costo total mínimo por turno es el generado por dos vendedores, la estrategia óptima de la gerente es contratar a 2 vendedores.

Problema resuelto 12-2

Marty Schatz es el dueño y gerente de un negocio de hot-dogs y bebidas gaseosas cerca del campus. Aunque Marty puede dar servicio a 30 clientes por hora en promedio (μ), sólo recibe 20 clientes por hora (λ). Debido a que Marty puede atender 50% más de los clientes que en realidad recibe, para él no tiene ningún sentido que haya líneas de espera en su negocio.

Marty lo contrata a usted para estudiar la situación y determinar algunas características de la cola. Después de examinar el problema, usted encontrará que éste es un sistema $M/M/1$. ¿Cuáles son sus conclusiones?

Solución

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{20}{30 - 20} = 2 \text{ clientes en el sistema, en promedio}$$

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{30 - 20} = 0.1 \text{ horas (6 minutos) que el cliente pasa en el sistema total, en promedio}$$

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{20^2}{30(30 - 20)} = 1.33 \text{ clientes que esperan servicio en la línea, en promedio}$$

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{20}{30(30 - 20)} = {}^{1}/_{15} \text{ horas} = (4 \text{ minutos}) = \text{tiempo de espera promedio de un cliente en la cola}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{20}{30} = 0.67 = \text{porcentaje del tiempo que Marty está ocupado atendiendo a los clientes}$$

$$P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu} = 1 - \rho = 0.33 = \text{probabilidad de que no haya clientes en el sistema (siendo atendidos o esperando en la cola) en un momento dado}$$

Probabilidad de k o más clientes que esperan en la línea y/o que están siendo atendidos

k	$P_{n>k} = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{k+1}$
0	0.667
1	0.444
2	0.296
3	0.198

Problema resuelto 12-3

Consulte el problema resuelto 12-2. Marty acordó que estas cifras parecían representar su situación de negocios aproximada. Usted está muy sorprendido por la longitud de las líneas y obtiene de Marty un valor estimado del tiempo de espera del cliente (en la cola, no siendo atendido) de 10 centavos por minuto. Durante las 12 horas que el negocio está abierto, recibe $(12 \times 20) = 240$ clientes. El cliente promedio está 4 minutos en la cola, por lo que el tiempo total de espera de los clientes es de $(240 \times 4$ minutos$) = 960$ minutos. El valor de los 960 minutos es ($0.10)(960 minutos) = $96. Usted le dice a Marty que 10 centavos por minuto no sólo es bastante conservador, sino que probablemente podría ahorrarse la mayor parte de esos $96 por la mala imagen ante el cliente, si contratara a otro vendedor. Después de mucho regateo, Marty se compromete a invitar a usted todos los hot-dogs que pueda comerse durante un periodo de una semana, a cambio de un análisis de los resultados si tuviera dos empleados para atender a los clientes.

Suponiendo que Marty contrata a un vendedor adicional cuya tasa de servicio es igual a la de Marty, realice el análisis.

Solución

Con dos personas trabajando, el sistema se vuelve de dos canales, o $m = 2$. Al realizar los cálculos se obtiene

$$P_0 = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{n=m-1} \frac{1}{n!}\left[\frac{20}{30}\right]^n\right] + \frac{1}{2!}\left[\frac{20}{30}\right]^2\left[\frac{2(30)}{2(30) - 20}\right]}$$

$$= \frac{1}{(1)(2/3)^0 + (1)(2/3)^1 + (1/2)(4/9)(6/4)} = 0.5$$

$=$ probabilidad de que no haya clientes en el sistema

$$L = \left[\frac{(20)(30)(20/30)^2}{(2 - 1)![(2)(30 - 20)]^2}\right]0.5 + \frac{20}{30} = 0.75 \text{ clientes en el sistema, en promedio}$$

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{3/4}{20} = \frac{3}{80} \text{ de hora} = 2.25 \text{ minutos que el cliente promedio pasa en todo el sistema}$$

$$L_q = L - \frac{\lambda}{\mu} = \frac{3}{4} - \frac{20}{30} = \frac{1}{12} = 0.083 \text{ clientes que esperan el servicio en la línea, en promedio}$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{1/12}{20} = \frac{1}{240} \text{ de hora} = \frac{1}{4} \text{ de minuto} = \text{tiempo de espera promedio de un cliente en la cola (sin ser atendido)}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{m\mu} = \frac{20}{2(30)} = \frac{1}{3} = 0.33 = \text{tasa de utilización}$$

Ahora se tienen (240 clientes) $\times$ (1/240 de hora) = 1 hora de tiempo total de espera de los clientes por día.

El costo total de 60 minutos de tiempo de espera de los clientes es (60 minutos)($0.10 por minuto) = $6.

Ahora ya está listo para señalar a Marty que la contratación de un empleado adicional le ahorrará $96 − $6 = $90 por la mala imagen ante el cliente, cada turno de 12 horas. Marty responde que la contratación también debería reducir el número de personas que ven la fila y se van, así como el número de clientes que se cansan de esperar en la cola y se retiran. En ese momento, usted le dice a Marty que está listo para comerse dos hot-dogs con picante extra.

Problema resuelto 12-4

Vacations Inns es una cadena de hoteles que opera en el suroeste de Estados Unidos. La empresa utiliza un número de teléfono gratuito para realizar reservaciones en cualquiera de sus hoteles. El tiempo promedio para atender cada llamada es de 3 minutos, y se recibe un promedio de 12 llamadas por hora. La distribución de probabilidad que describe las llegadas es desconocida. Durante un periodo de tiempo, se determina que la persona que llama gasta en promedio 6 minutos, ya sea en espera o recibiendo el servicio. Encuentre el tiempo promedio en la cola, el tiempo promedio en el sistema, el número promedio de llamadas en la cola y el número promedio de llamadas en el sistema.

Solución

Las distribuciones de probabilidad son desconocidas, pero se tiene el tiempo promedio en el sistema (6 minutos). Por lo tanto, podemos utilizar las ecuaciones de flujo de Little:

$$W = 6 \text{ minutos} = 6/60 \text{ horas} = 0.1 \text{ horas}$$

$$\lambda = 12 \text{ por hora}$$

$$\mu = 60/3 = 20 \text{ por hora}$$

$$\text{Tiempo promedio en la cola} = W_q = W - 1/\mu = 0.1 - 1/20 = 0.1 - 0.05 = 0.05 \text{ horas}$$

$$\text{Número promedio de llamadas en el sistema} = L = \lambda W = 12(0.1) = 1.2 \text{ llamadas}$$

$$\text{Número promedio de llamadas en la cola} = L_q = \lambda W_q = 12(0.05) = 0.6 \text{ llamadas}$$

Autoevaluación

- Antes de realizar la autoevaluación, consulte los objetivos de aprendizaje al comienzo del capítulo, las notas en los márgenes y el glosario al final del capítulo.
- Consulte las soluciones en la parte final del libro para corregir sus respuestas.
- Vuelva a estudiar las páginas que correspondan a todas las preguntas que respondió incorrectamente o al material del que no se sienta seguro.

1. La mayoría de los sistemas usan la disciplina de cola conocida como la regla de FIFO.
   a. Verdadero
   b. Falso
2. Antes de usar distribuciones exponenciales para construir modelos de colas, el analista cuantitativo debería determinar si los datos del tiempo de servicio se ajustan a la distribución.
   a. Verdadero
   b. Falso
3. En un sistema de colas de una fase con múltiples canales, la llegada pasará a través de, al menos, dos instalaciones de servicio diferentes.
   a. Verdadero
   b. Falso
4. ¿Cuál de los siguientes no es un supuesto en los modelos $M/M/1$?
   a. Las llegadas provienen de una población infinita o muy grande.
   b. Las llegadas tienen una distribución de Poisson.
   c. Las llegadas son atendidas con base en FIFO y no rechazan ni renuncian.
   d. Los tiempos de servicio siguen una distribución exponencial.
   e. La tasa promedio de llegada es más rápida que la tasa promedio de servicio.
5. Un sistema de colas descrito como $M/D/2$ tendría
   a. tiempos de servicio exponenciales.
   b. dos colas.
   c. tiempos de servicio constantes.
   d. tasas de llegada constantes.
6. Los automóviles entran al servicio por la ventanilla de un restaurante de comida rápida para realizar un pedido y, luego, proceden a realizar el pago y recoger los alimentos. Éste es un ejemplo de
   a. un sistema con múltiples canales.
   b. un sistema con múltiples fases.
   c. un sistema con múltiples colas.
   d. ninguno de los anteriores.
7. El factor de utilización de un sistema se define como
   a. el número medio de personas atendidas dividido entre el número medio de llegadas por periodo de tiempo.
   b. el tiempo promedio que un cliente pasa esperando en una cola.
   c. la proporción del tiempo que las instalaciones de servicio están en uso.
   d. el porcentaje de tiempo inactivo.
   e. ninguno de los anteriores.
8. ¿Cuál de los siguientes sistemas no tendría una disciplina de cola de FIFO?
   a. Restaurante de comida rápida
   b. Oficina de correos
   c. Fila para pagar en una tienda de comestibles
   d. Sala de emergencias en un hospital
9. Una empresa tiene un técnico en computación que se encarga de las reparaciones de 20 computadoras de la empresa. Cuando un equipo falla, se llama al técnico para que haga la reparación. Si el reparador está ocupado, la computadora debe esperar por el servicio. Éste es un ejemplo de
   a. un sistema con múltiples canales.
   b. un sistema con población finita.
   c. un sistema con tasa de servicio constante.
   d. un sistema con múltiples fases.
10. Al realizar un análisis de costos de un sistema de colas, el costo del tiempo de espera (C_w) se basa a veces en el tiempo en la cola y, a veces en el tiempo en el sistema. ¿Para cuál de las siguientes situaciones el costo de espera se debería basar en el tiempo en el sistema?
    a. Espera en una fila para subir a un juego mecánico
    b. Espera para discutir un problema de salud con un médico
    c. Espera por una foto y un autógrafo de una estrella de rock
    d. Espera por la reparación de una computadora para que se pueda poner de nuevo en servicio
11. Los clientes entran a la línea de espera en una cafetería de la forma primero en llegar, primero en ser atendido. La tasa de llegadas sigue una distribución de Poisson y los tiempos de servicio se distribuyen exponencialmente. Si el número promedio de llegadas es de 6 por minuto y la tasa de servicio promedio de un solo servidor es de 10 por minuto, ¿cuál es el número promedio de clientes en el sistema?
    a. 0.6
    b. 0.9
    c. 1.5
    d. 0.25
    e. ninguno de los anteriores
12. En el modelo de colas estándar, suponemos que la disciplina de la cola es ________________.
13. Se supone que el tiempo de servicio en el modelo de colas $M/M/1$ es ________________.
14. Cuando los administradores encuentran que las fórmulas estándar para los sistemas de colas son inadecuadas o que las matemáticas son irresolubles, con frecuencia recurren a ________________ para obtener soluciones.

Preguntas para análisis y problemas

Preguntas para análisis

12-1 ¿Cuál es el problema de la línea de espera? ¿Cuáles son los componentes de un sistema de líneas de espera?

12-2 ¿Cuáles son los supuestos subyacentes en los modelos de colas comunes?

12-3 Describa las características de funcionamiento importantes en un sistema de colas.

12-4 ¿Por qué la tasa de servicio debe ser mayor que la tasa de llegada en un sistema de colas de un solo canal?

12-5 Describa brevemente tres situaciones en las cuales la regla de disciplina de FIFO no es aplicable al análisis de colas.

12-6 Mencione ejemplos de cuatro situaciones en las que existe una población limitada o finita.

12-7 ¿Cuáles son los componentes de los siguientes sistemas? Dibuje y explique la configuración de cada uno.
(a) Una barbería
(b) Un lavado de autos
(c) Una lavandería
(d) Una pequeña tienda de comestibles

12-8 Dé un ejemplo de una situación en la que el costo del tiempo de espera se basa en el tiempo de espera en la cola. Mencione un ejemplo de una situación donde el costo de tiempo de espera se basa en el tiempo de espera en el sistema.

12-9 ¿Cree usted que la distribución de Poisson, que supone llegadas independientes, es una buena estimación de las tasas de llegada en los siguientes sistemas de colas? Defienda su posición en cada caso.
(a) La cafetería de su escuela
(b) Una barbería
(c) Una ferretería
(d) Un consultorio dental
(e) Una clase universitaria
(f) Una sala de cine

Problemas*

: 12-10 La tienda departamental Schmedley Discount cuenta con aproximadamente 300 clientes que compran en su tienda de 9 A.M. a 5 P.M. los días sábado. Al decidir cuántas cajas registradoras debe mantener abiertas cada sábado, el gerente de Schmedley considera dos factores: el tiempo de espera de los clientes (y el costo de espera asociado) y los costos del servicio debido al empleo de cajeros adicionales. A los cajeros se les paga un promedio de $8 por hora. Cuando sólo uno está en servicio, el tiempo de espera por cliente es de unos 10 minutos (o $^1/_6$ de hora); cuando hay dos empleados en servicio, el tiempo de pago promedio es de 6 minutos por persona; 4 minutos, cuando hay tres empleados trabajando, y 3 minutos, cuando se tienen cuatro empleados en servicio

La gerencia de Schmedley ha realizado encuestas de satisfacción de los clientes y ha sido capaz de estimar que la tienda tiene un costo aproximado de $10 por pérdida de ventas y de buena imagen por cada *hora* del tiempo de los clientes dedicada a esperar en las filas para pagar. Use la información proporcionada para determinar el número óptimo de empleados que se deben tener en servicio cada sábado, con la finalidad de minimizar el costo esperado total de la tienda.

• 12-11 La corporación Rockwell Electronics mantiene un personal de servicio para reparar las averías de sus máquinas, que se producen en un promedio de $\lambda = 3$ por día (con una naturaleza aproximadamente de Poisson).

Este personal puede dar servicio a un promedio de $\mu = 8$ máquinas por día, con una distribución del tiempo de reparación que se asemeja a la distribución exponencial.
(a) ¿Cuál es la tasa de utilización de este sistema de servicio?
(b) ¿Cuál es el tiempo inactivo promedio para una máquina que se ha averiado?
(c) ¿Cuántas máquinas están esperando a ser atendidas en un momento dado?
(d) ¿Cuál es la probabilidad de que más de una máquina se encuentre en el sistema? ¿La probabilidad de que más de dos están descompuestas y en espera de ser reparadas o atendidas? ¿Más de tres? ¿Y más de cuatro?

• 12-12 A partir de datos históricos, el lavado de autos de Harry estima que los automóviles sucios llegan a una tasa de 10 por hora durante todo el día sábado. Con una cuadrilla trabajando en la línea de lavado, Harry calcula que los autos se pueden atender a razón de uno cada 5 minutos. En este ejemplo de una línea de espera de un solo canal, los autos se lavan de uno en uno.

Si se supone que las llegadas son de Poisson y los tiempos de servicio exponenciales, encuentre
(a) el número promedio de autos en la línea.
(b) el tiempo promedio que un auto espera antes de ser lavado.
(c) el tiempo promedio que un auto pasa en el sistema de servicio.
(d) la tasa de utilización del sistema de lavado.
(e) la probabilidad de que no haya autos en el sistema.

: 12-13 Mike Dreskin administra un gran complejo de cines en Los Ángeles llamado Cinema I, II, III y IV. Cada una de las cuatro salas proyecta una película diferente; el horario se establece de modo que los tiempos de inicio estén escalonados para evitar las grandes aglomeraciones que se producirían si las cuatro películas comenzaran al mismo tiempo. El complejo tiene una sola taquilla y un cajero

* *Nota:* [QM] significa que el problema puede resolverse con QM para Windows; [X] significa que el problema puede resolverse con Excel QM, y [QM/X] significa que el problema puede resolverse con QM para Windows y/o Excel QM.

que puede mantener una tasa de servicio promedio de 280 clientes por hora. Se supone que los tiempos de servicio siguen una distribución exponencial. Las llegadas en un día típicamente activo tienen una distribución de Poisson y promedian 210 por hora.

Para determinar la eficiencia de la operación actual de venta de boletos, Mike desea examinar varias características del funcionamiento de la cola.

(a) Encuentre el número promedio de clientes que esperan en la fila para comprar un boleto.
(b) ¿Qué porcentaje del tiempo el cajero está ocupado?
(c) ¿Cuál es el tiempo promedio que un cliente pasa en el sistema?
(d) ¿Cuál es el tiempo de espera promedio en la cola para llegar a la taquilla?
(e) ¿Cuál es la probabilidad de que haya más de dos personas en el sistema? ¿Más de tres personas? ¿Más de cuatro?

12-14 Una línea en la cafetería de una universidad en el centro de estudiantes es una instalación de autoservicio donde los estudiantes seleccionan los alimentos que desean y, luego, forman una sola línea para pagar al cajero. Los estudiantes llegan a la caja a una tasa aproximada de cuatro por minuto de acuerdo con una distribución de Poisson. El único cajero que realiza los cobros tarda unos 12 segundos por cliente, siguiendo una distribución exponencial.

(a) ¿Cuál es la probabilidad de que haya más de dos estudiantes en el sistema? ¿Más de tres estudiantes? ¿Más de cuatro?
(b) ¿Cuál es la probabilidad de que el sistema esté vacío?
(c) ¿Cuánto tiempo espera el estudiante promedio antes de llegar a la caja?
(d) ¿Cuál es el número esperado de estudiantes en la cola?
(e) ¿Cuál es el número promedio de estudiantes en el sistema?
(f) Si se agrega una segunda caja (que trabaja al mismo ritmo), ¿cómo cambian las características de funcionamiento calculadas en los incisos (b), (c), (d) y (e)? Suponga que los clientes esperan en una sola línea y van a la primera caja disponible.

12-15 La temporada de cosecha de trigo en el medio oeste estadounidense es corta, y la mayoría de los agricultores entregan sus camiones cargados de trigo a un gigantesco contenedor de almacenamiento central en un lapso de dos semanas. Debido a esto, los camiones llenos de trigo esperan en una fila para descargar en el contenedor y volver a los campos de cultivo. El contenedor central es propiedad cooperativa, y es en beneficio de todos los agricultores con la finalidad de que el proceso de almacenamiento/descarga sea lo más eficiente posible. El costo del deterioro del grano causado por los retrasos en la descarga, el costo del alquiler de los camiones y el tiempo de inactividad de los conductores son preocupaciones importantes de los miembros de la cooperativa. Aunque los agricultores tienen dificultades para cuantificar los daños a los cultivos, es fácil asignar un costo de espera y descarga por camión y conductor de $18 por hora. El contenedor está abierto y opera 16 horas al día, 7 días a la semana, durante la temporada de cosecha y es capaz de descargar 35 camiones por hora de acuerdo con una distribución exponencial. Los camiones cargados llegan durante todo el día (durante las horas que el contenedor está abierto) a una tasa de alrededor de 30 por hora, siguiendo un patrón de Poisson.

Para ayudar a la cooperativa con el problema de la pérdida de tiempo, mientras los camiones esperan en la fila o mientras son descargados en el contenedor, encuentre

(a) el número promedio de camiones en el sistema de descarga.
(b) el tiempo promedio por camión en el sistema.
(c) la tasa de utilización del área del contenedor.
(d) la probabilidad de que haya más de tres camiones en el sistema en cualquier momento dado.
(e) el costo total diario de los agricultores por tener sus camiones detenidos en el proceso de descarga.

Como se ha mencionado, la cooperativa utiliza el contenedor sólo dos semanas al año. Los agricultores estiman que una ampliación de este depósito recortaría los costos de descarga en 50% el próximo año. Costaría $9,000 hacer la expansión durante la temporada en que no hay descarga. ¿Sería rentable para la cooperativa ampliar el área de almacenamiento?

12-16 La tienda departamental Ashley's en Kansas City mantiene un exitoso departamento de ventas por catálogo, en el cual un empleado recibe órdenes por teléfono. Si el empleado está ocupado en una línea, las llamadas telefónicas entrantes al departamento de ventas por catálogo son contestadas automáticamente por una máquina grabadora que pide al cliente esperar. Tan pronto como el empleado se libera, la llamada que ha esperado más tiempo se transfiere y se responde primero. Las llamadas llegan a una tasa de alrededor de 12 por hora. El empleado es capaz de tomar un pedido en un promedio de 4 minutos. Las llamadas tienden a seguir una distribución de Poisson y los tiempos de servicio suelen ser exponenciales. Al empleado se le pagan $10 por hora, pero debido a la pérdida de ventas y de buena imagen, Ashley's pierde alrededor de $50 por cada hora que los clientes pasan esperando a que el empleado tome su pedido.

(a) ¿Cuál es el tiempo promedio que los clientes por catálogo deben esperar antes de que sus llamadas se transfieran al empleado?
(b) ¿Cuál es el número promedio de clientes esperando a hacer un pedido?
(c) Ashley's está considerando la adición de un segundo empleado para recibir llamadas. La tienda pagaría a esa persona los mismos $10 por hora. ¿Debería contratar a otro empleado? Explique su respuesta

12-17 Los automóviles llegan a la ventanilla de servicio en una oficina de correos a una tasa de 4 cada 10 minutos. El tiempo de servicio promedio es de 2 minutos. La distribución de Poisson es adecuada para la tasa de llegadas y los tiempos de servicios se distribuyen de manera exponencial.

(a) ¿Cuál es el tiempo promedio que un auto está en el sistema?
(b) ¿Cuál es el número promedio de vehículos en el sistema?
(c) ¿Cuál es el tiempo promedio que pasan los autos en espera de recibir el servicio?
(d) ¿Cuál es el número promedio de autos en la fila *detrás* del cliente que está recibiendo el servicio?
(e) ¿Cuál es la probabilidad de que no haya autos en la ventanilla?

(f) ¿Qué porcentaje del tiempo el empleado de correos está ocupado?
(g) ¿Cuál es la probabilidad de que haya exactamente dos autos en el sistema?

12-18 En la oficina de correos del problema 12-17, se está considerando una segunda ventanilla para atender a los clientes. Se formaría una sola fila y cuando un auto llegara a la parte delantera de la línea se dirigiría al siguiente empleado disponible. El cajero de la nueva ventanilla trabajaría al mismo ritmo que el actual.
(a) ¿Cuál es el tiempo promedio que un auto estaría en el sistema?
(b) ¿Cuál es el número promedio de autos en el sistema?
(c) ¿Cuál es el tiempo promedio que pasarían los autos en espera de recibir el servicio?
(d) ¿Cuál es el número promedio de autos que habría en la fila *detrás* de los clientes que están recibiendo el servicio?
(e) ¿Cuál es la probabilidad de que no hubiera autos en el sistema?
(f) ¿Qué porcentaje del tiempo los cajeros estarían ocupados?
(g) ¿Cuál es la probabilidad de que hubiera exactamente dos autos en el sistema?

12-19 La distribuidora mayorista de frutas Juhn and Sons utiliza a un empleado cuyo trabajo consiste en cargar fruta en los camiones que salen de la compañía. Los camiones llegan a la puerta de carga en un promedio de 24 por día, o 3 por hora, de acuerdo con una distribución de Poisson. El trabajador los carga a una velocidad de 4 por hora, siguiendo aproximadamente una distribución exponencial en los tiempos de servicio.

Determine las características de funcionamiento de este problema de puerta de carga. ¿Cuál es la probabilidad de que haya más de tres camiones ya sea siendo cargados o en espera? Comente los resultados de su cálculo en este modelo de colas.

12-20 Juhn cree que la adición de un segundo cargador de fruta mejoraría sustancialmente la eficiencia de la compañía. Se estima que un equipo de dos personas seguiría actuando como un sistema de un solo servidor y que la puerta de carga duplicará su tasa de carga de 4 camiones por hora a 8 camiones por hora. Analice el efecto en la cola de tal cambio y compare los resultados con los encontrados en el problema 12-19.

12-21 Los conductores de camión que trabajan para Juhn and Sons (vea los problemas 12-19 y 12-20) reciben un pago de $20 por hora en promedio. Los cargadores de frutas reciben alrededor de $12 por hora. Los conductores de camiones que esperan en la cola o en la puerta de carga están percibiendo un salario, pero están productivamente inactivos y son incapaces de generar ingresos durante ese tiempo. ¿Cuál sería el ahorro en costos *por hora* para la compañía, asociado con el empleo de dos cargadores en lugar de uno?

12-22 La distribuidora mayorista de frutas Juhn and Sons (del problema 12-19) está considerando la construcción de una segunda plataforma o puerta para acelerar el proceso de carga de sus camiones de fruta. Piensan que esto sería aún más eficaz que la simple contratación de otro cargador que ayude en la primera plataforma (como en el problema 12-20).

Suponga que los trabajadores de cada plataforma podrán cargar 4 camiones por hora cada uno y que los camiones seguirán llegando a una tasa de 3 por hora. Encuentre las nuevas condiciones de funcionamiento de la línea de espera. ¿Es cierto que este nuevo enfoque es más rápido que los otros dos considerados?

12-23 Bill First, gerente general de la tienda departamental Worthmore, ha estimado que cada hora que los clientes pasan esperando en la cola a que un empleado de ventas esté disponible cuesta a la tienda $100 en pérdida de ventas y de buena imagen. Los clientes llegan a la caja registradora a un ritmo de 30 por hora, y el tiempo de servicio promedio es de 3 minutos. La distribución de Poisson describe las llegadas y los tiempos de servicio se distribuyen de manera exponencial. El número de empleados de ventas puede ser de 2, 3 o 4, donde cada uno trabaja a la misma tasa. Bill estima que el salario y las prestaciones para cada empleado son de $10 por hora. La tienda está abierta 10 horas al día.
(a) Calcule el tiempo promedio en la línea si se utilizan 2, 3 y 4 cajeros.
(b) ¿Cuál es el tiempo total diario de espera en la línea si se utilizan 2, 3 y 4 cajeros?
(c) Calcule el total diario de los costos de espera y del servicio si se utilizan 2, 3 y 4 cajeros. ¿Cuál es el costo total diario mínimo?

12-24 Billy's Bank es el único banco en un pequeño pueblo de Arkansas. En un viernes típico, un promedio de 10 clientes por hora llegan al banco para realizar transacciones comerciales. Hay un solo cajero en el banco, y el tiempo promedio necesario para realizar transacciones comerciales es de 4 minutos. Se supone que los tiempos de servicio pueden describirse mediante la distribución exponencial. Aunque éste es el único banco en el pueblo, algunas personas han comenzado a utilizar el banco de un pueblo vecino a unas 20 millas de distancia. Si se utiliza un solo cajero en Billy's, encuentre
(a) el tiempo promedio en la línea.
(b) el número promedio de clientes en la línea.
(c) el tiempo promedio en el sistema.
(d) el número promedio de clientes en el sistema.
(e) la probabilidad de que el banco esté vacío.

12-25 Consulte la situación del Billy's Bank en el problema 12-24. Billy está considerando la adición de un segundo cajero (quien trabajaría al mismo ritmo que el primero) para reducir el tiempo de espera de los clientes, y supone que esto reduciría el tiempo de espera a la mitad. Se utilizaría una sola línea, y el cliente al frente de la fila iría a la primera caja disponible. Si se agrega un segundo cajero, encuentre
(a) el tiempo promedio en la línea.
(b) el número promedio de clientes en la línea.
(c) el tiempo promedio en el sistema.
(d) el número promedio de clientes en el sistema.
(e) la probabilidad de que el banco esté vacío.

12-26 Para la situación del Billy's Bank en los problemas 12-24 y 12-25, el salario y las prestaciones de un cajero serían de $12 por hora. El banco está abierto 8 horas al día. Se ha

estimado que el costo del tiempo de espera es de $25 por hora en la línea.

(a) ¿Cuántos clientes entrarían al banco en un día típico?
(b) ¿Cuánto tiempo pasarían los clientes en total esperando en la línea durante todo el día si se utilizara un solo cajero? ¿Cuál es el costo total diario del tiempo de espera?
(c) ¿Cuánto tiempo pasarían los clientes en total esperando en la línea durante todo el día si se utilizaran dos cajeros? ¿Cuál es el costo total diario del tiempo de espera?
(d) Si Billy desea minimizar el costo total del tiempo de espera y del personal, ¿qué número de cajeros debe utilizar?

12-27 Los clientes llegan a una máquina automática expendedora de café a una tasa de 4 por minuto, siguiendo una distribución de Poisson. La máquina de café dispensa una taza de café en exactamente 10 segundos.

(a) ¿Cuál es el número promedio de personas esperando en la línea?
(b) ¿Cuál es el promedio de personas en el sistema?
(c) ¿Cuánto tiempo espera en la línea la persona promedio antes de recibir el servicio?

12-28 El número promedio de clientes en el sistema de una fase de un solo canal del modelo descrito en la sección 12.4 es

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

Demuestre que para $m = 1$ servidor, el modelo de colas con múltiples canales de la sección 12.5,

$$L = \frac{\lambda\mu\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^m}{(m-1)!(m\mu - \lambda)^2} P_0 + \frac{\lambda}{\mu}$$

es idéntico al sistema de un solo canal. Tenga en cuenta que, en este ejercicio, altamente algebraico, se debe utilizar la fórmula para P_0 (ecuación 12-13).

12-29 Un mecánico da servicio a 5 máquinas de perforación para un fabricante de placas de acero. Las máquinas se descomponen en promedio una vez cada 6 días de trabajo, y las averías tienden a seguir una distribución de Poisson. El mecánico puede manejar un promedio de un trabajo de reparación al día. Las reparaciones siguen una distribución exponencial.

(a) ¿Cuántas máquinas están a la espera del servicio, en promedio?
(b) ¿Cuántas hay en el sistema, en promedio?
(c) ¿Cuántas máquinas perforadoras están operando correctamente, en promedio?
(d) ¿Cuál es el tiempo de espera promedio en la cola?
(e) ¿Cuál es la permanencia promedio en el sistema?

12-30 Un técnico supervisa un grupo de cinco computadoras que controlan una instalación de manufactura automatizada. Tarda un promedio de 15 minutos (distribuidos exponencialmente) en ajustar una computadora que ha desarrollado un problema. Las computadoras funcionan durante un promedio de 85 minutos (distribución de Poisson) sin necesidad de ajustes. ¿Cuál es

(a) el número promedio de computadoras en espera de ser ajustadas?
(b) el número promedio de computadoras que no está funcionando?
(c) la probabilidad de que el sistema esté vacío?
(d) el tiempo promedio en la cola?
(e) el tiempo promedio en el sistema?

12-31 La estación de metro típica en Washington, D.C., tiene 6 torniquetes, cada uno de los cuales puede ser controlado por el gerente de la estación para ser utilizado en el control de la entrada o la salida, pero no para ambos. El gerente debe decidir en diferentes momentos del día cuántos torniquetes debe utilizar para la entrada de pasajeros y cuántos empleará para permitir la salida de pasajeros.

En la estación del Washington College, los pasajeros entran a una tasa aproximada de 84 por minuto entre las 7 y 9 A.M. Los pasajeros que salen de los trenes llegan a la zona de torniquetes a una tasa aproximada de 48 por minuto durante la misma hora pico de la mañana. Cada torniquete puede permitir la entrada o la salida de un promedio de 30 pasajeros. Se piensa que los tiempos de llegada y del servicio siguen las distribuciones de Poisson y exponencial, respectivamente. Suponga que los pasajeros forman una cola común en las áreas de los torniquetes de entrada y salida, y avanzan hacia el primer torniquete vacío.

El gerente de la estación del Washington College no quiere que el pasajero promedio tenga que esperar en una línea de torniquete por más de 6 segundos, ni tampoco desea que haya más de 8 personas haciendo cola en cualquier momento promedio.

(a) ¿Cuántos torniquetes deberían abrirse en cada dirección cada mañana?
(b) Comente los supuestos que subyacen a la solución de este problema utilizando la teoría de colas.

12-32 La banda de la Clear Brook High School está realizando un lavado de automóviles para recaudar fondos con la finalidad de comprar nuevo equipamiento. El tiempo promedio para lavar un auto es de 4 minutos, y el tiempo se distribuye de manera exponencial. Los autos llegan a razón de uno cada 5 minutos (o 12 por hora), y el número de llegadas por periodo de tiempo se describe mediante la distribución de Poisson.

(a) ¿Cuál es el tiempo promedio que los autos esperan en la línea?
(b) ¿Cuál es el número promedio de autos en la línea?
(c) ¿Cuál es el número promedio de vehículos en el sistema?
(d) ¿Cuál es el tiempo promedio en el sistema?
(e) ¿Cuál es la probabilidad de que haya más de tres autos en el sistema?

12-33 Cuando llegaron miembros adicionales de la banda para ayudar en el lavado de autos (vea el problema 12-32),

se decidió que debían lavarse dos autos a la vez en lugar de uno. Ambas cuadrillas de trabajo funcionarían con la misma velocidad.

(a) ¿Cuál es el tiempo promedio que los autos esperan en la línea?
(b) ¿Cuál es el número promedio de autos en la línea?
(c) ¿Cuál es el número promedio de vehículos en el sistema?
(d) ¿Cuál es el tiempo promedio en el sistema?

12-34 Al llegar a la Puerta Sunkist en la Base Naval del Condado de Ventura en Port Hueneme, California, hay dos guardias de seguridad, cada uno asignado a uno de los dos carriles vehiculares que conducen a la puerta, para comprobar la identificación (es decir, la tarjeta militar de acceso común) de las personas en los vehículos que desean pasar a la base. Por la mañana, cuando la puerta está más activa, los autos llegan cada 12 segundos y toman aleatoriamente uno de los dos carriles, que claramente indican "NO HAY CAMBIO DE CARRIL". Una vez que el auto está al frente de su fila particular, el guardia requiere 20 segundos, en promedio, para comprobar las identificaciones de todos los ocupantes de cada auto. Por lo general, eso significa una sola persona. Sin embargo, algunas personas comparten el viaje y puede haber hasta seis o siete en un vehículo específico. Teniendo en cuenta que las llegadas de vehículos siguen una distribución de Poisson y el tiempo para comprobar las identificaciones sigue una distribución exponencial negativa, determine el número promedio de autos y el tiempo de espera promedio en cada una de las filas.

12-35 Ye Olde Creamery, una popular tienda de helados en el campus, tiene una fila para vender sus delicias. Los estudiantes llegan a Ye Olde aproximadamente uno cada minuto. Gracias al nuevo sistema automatizado "colocar y pagar", sólo se requieren 40 segundos, en promedio, para hacer un pedido y pagarlo; para ello, los estudiantes únicamente deben mantener sus teléfonos celulares sobre el dispositivo "colocar y pagar" y el sistema deduce de su cuenta automáticamente el costo del cono de helado. Sin embargo, el sistema "colocar y pagar" tiene fallas y con frecuencia está fuera de línea, provocando que los estudiantes deban pagar con efectivo. Esto hace que el promedio del tiempo de pedidos y pagos se duplique y se forme una larga fila, lo cual obliga a Ye Olde Creamery a abrir otra estación de pedidos y pagos. Al tener dos estaciones de pedidos y pagos abiertas (con una sola línea), los costos de Ye Olde aumentan en $12.00 por hora, mientras que la mejora del sistema "colocar y pagar" para no estar nunca fuera de línea costaría $1,200. Suponiendo que las llegadas son de Poisson y que los tiempos de servicio son exponenciales negativos, compare el funcionamiento de Ye Olde Creamery con las dos distintas configuraciones. Considerando los costos adicionales implicados, ¿qué debería hacer la gerencia de Ye Olde Creamery?

Estudio de caso

New England Foundry

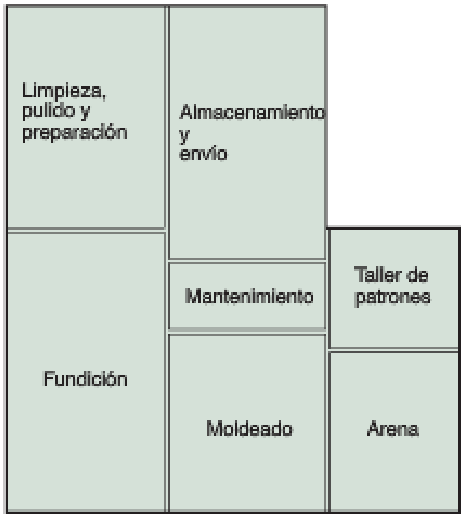
Durante más de 75 años, la New England Foundry, Inc., ha fabricado estufas de leña para uso doméstico. En los últimos años, con el aumento de precios de la energía, George Mathison, presidente de New England Foundry, ha visto sus ventas triplicarse. Este dramático incremento en las ventas ha hecho que sea aún más difícil para George mantener la calidad en todas las estufas de leña y productos relacionados.

A diferencia de otras empresas que fabrican estufas de leña, New England Foundry es la *única* en el negocio que fabrica estufas y productos relacionados. Sus productos principales son la Warmglo I, la Warmglo II, la Warmglo III y la Warmglo IV. La Warmglo I es la estufa de leña más pequeña, con una salida de calor de 30,000 BTU; y la Warmglo IV es la más grande, con una salida de calor de 60.000 BTU. Además, New England Foundry, Inc., produce una gran variedad de productos diseñados para su utilización con una de las cuatro estufas, incluyendo estantes de calentamiento, termómetros superficiales, conductos para estufa, adaptadores, guantes para cocina, colgadores, bastidores, hornillas, chimeneas y aislantes térmicos. New England Foundry también publica un boletín de noticias y varios libros de bolsillo sobre la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento de las estufas, así como de las fuentes de madera. George cree que su amplio surtido de productos ha contribuido de manera importante al aumento en las ventas.

La Warmglo III se vende más que todas las demás estufas por un amplio margen. La producción de calor y los accesorios disponibles son ideales para un hogar típico. La Warmglo III también tiene una serie de características excepcionales que la convierten en una de las estufas más atractivas y más eficientes en producción de calor del mercado. Cada Warmglo III tiene una válvula de admisión primaria de aire controlada por termostato que permite que la estufa se ajuste automáticamente para producir la salida de calor correcta de acuerdo con las variaciones de las condiciones climáticas. Una abertura secundaria de aire se utiliza para aumentar la salida de calor en caso de tiempo muy frío. Las partes internas de la estufa producen una trayectoria horizontal de la llama, para un quemado más eficiente; y los gases de salida se ven obligados a tomar un camino en forma de S a través de la estufa. La trayectoria en forma de S permite una combustión más completa de los gases y una mejor transferencia del calor del

FIGURA 12.3 Diagrama general de la fábrica

FIGURA 12.4 Diagrama general de la fábrica después de los cambios



fuego y los gases a través del hierro fundido hasta la zona de calentamiento. Estas características, junto con los accesorios, dieron lugar a la expansión de las ventas y llevaron a George a construir una nueva instalación para la fabricación de estufas Warmglo III. En la figura 12.3 se muestra un diagrama general de la fábrica.

La nueva fundidora utiliza equipos de última generación, incluyendo un nuevo Disamatic que ayuda a la fabricación de piezas de la estufa. Independientemente de los nuevos equipos o procedimientos, las operaciones de fundición se han mantenido básicamente sin cambios durante cientos de años. Para empezar, se hace un patrón de madera para cada pieza de hierro fundido en la estufa. El patrón de madera es una duplicación exacta de la pieza de hierro fundido que se va a fabricar. Todos los patrones de New England Foundry son realizados por Precision Patterns, Inc., y estos patrones se almacenan en el área del taller de patrones y mantenimiento. A continuación, una arena especialmente formulada se moldea alrededor del patrón de madera. Puede haber dos o más moldes de arena para cada patrón. La mezcla de la arena y la elaboración de moldes se realizan en el área de moldeado. Cuando se retira el patrón de madera, los moldes de arena resultantes forman una imagen negativa de la pieza fundida que se desea. En seguida, los moldes se transportan al área de fundición, donde se vierte hierro fundido en los moldes y se deja enfriar. Cuando el hierro se ha solidificado, los moldes se trasladan al área de limpieza, pulido y preparación. Los moldes se vierten en grandes vibradores que sacuden la mayor parte de la arena de la pieza colada. Las piezas moldeadas en bruto se someten a continuación tanto a un chorro de arena, para eliminar el resto de la arena, y a la pulidora para las superficies de las piezas coladas. Luego, las fundiciones se pintan con una pintura especial resistente al calor, se ensamblan en estufas funcionales y se inspeccionan en busca de defectos que podrían haber pasado inadvertidos hasta ese momento de la manufactura. Por último, las estufas terminadas se trasladan al área de almacenamiento y envío, donde son empaquetadas y enviadas a los lugares apropiados.

En la actualidad, el taller de patrones y el departamento de mantenimiento se encuentran en la misma área. Hay un gran mostrador que es utilizado tanto por el personal de mantenimiento para obtener las herramientas y las piezas, como por los moldeadores de arena que necesitan varios patrones en la operación de moldeo. Peter Nawler y Bob Bryan, que trabajan detrás del mostrador, son capaces de dar servicio a un total de 10 personas por hora (o aproximadamente a 5 por hora cada uno). En promedio, 4 personas de mantenimiento y 3 personas del departamento de moldeado llegan al mostrador por hora. La gente del departamento de moldeado y de mantenimiento llegan al azar y, para ser atendidos, forman una sola línea. Pete y Bob siempre han tenido una política del tipo primero en llegar, primero en ser atendido. Debido a la ubicación del taller de patrones y el departamento de mantenimiento, se requieren unos 3 minutos para que una persona del departamento de mantenimiento camine hasta el mostrador, y alrededor de 1 minuto para que una persona camine desde el departamento de moldeado hasta el área de patrones y mantenimiento.

Después de observar el funcionamiento del área del taller de patrones y mantenimiento durante varias semanas, George decidió hacer algunos cambios en el diseño de la fábrica. En la figura 12.4 se muestra un diagrama general de estos cambios.

La separación del taller de mantenimiento y el taller de patrones tiene varias ventajas. A las personas del departamento de mantenimiento les tomaría sólo 1 minuto, en lugar de 3, llegar al nuevo mostrador del departamento de mantenimiento. Utilizando estudios de tiempos y movimientos, George también fue capaz de determinar que la mejora de la distribución del departamento de mantenimiento permitiría que Bob diera servicio a 6 personas del departamento de mantenimiento por hora, y la mejora de la distribución del departamento de patrones permitiría que Pete diera servicio a 7 personas del taller de moldeado por hora.

Preguntas para análisis

1. ¿Cuánto tiempo ahorraría el nuevo diseño?
2. Si al personal de mantenimiento se les paga \$9.50 por hora y el personal de moldeado recibe un pago de \$11.75 por hora, ¿cuánto se ahorraría cada hora con la nueva distribución de la fábrica?

Estudio de caso

Winter Park Hotel

Donna Shader, gerente del Winter Park Hotel, está considerando cómo reestructurar la recepción para llegar a un nivel óptimo de eficiencia del personal y del servicio al huésped. En la actualidad, el hotel cuenta con cinco empleados por turno, cada uno con una línea de espera separada, durante la hora de registro con mayor afluencia de 3:00 P.M. a 5:00 P.M. La observación de llegadas durante este tiempo muestra que cada hora llega un promedio de 90 personas (aunque no hay límite superior en el número que podría llegar en cualquier momento dado). Se requiere un promedio de 3 minutos para que cada empleado de recepción registre a cada huésped.

Donna está considerando tres planes para mejorar el servicio al cliente mediante la reducción del tiempo que los huéspedes pasan esperando en la fila. La primera propuesta sería designar a un empleado como empleado de servicio rápido para los huéspedes que se registran bajo cuentas corporativas, un segmento del mercado que implica alrededor del 30% de todas las habitaciones ocupadas. Debido a que los huéspedes de negocios están preinscritos, su registro tarda sólo 2 minutos. Con estos huéspedes separados del resto de la clientela, el tiempo promedio para el registro de un cliente típico subiría a 3.4 minutos. Bajo el plan 1, los huéspedes no corporativos podrían elegir cualquiera de las cuatro líneas restantes.

El segundo plan es implementar un sistema de una sola línea. Todos los huéspedes deberían formarse en una sola línea de espera para ser atendidos por cualquiera de los cinco empleados que estuviera disponible. Esta opción requeriría suficiente espacio en el vestíbulo para una cola de longitud considerable.

La tercera propuesta implica el uso de un cajero automático (ATM) para los registros de entrada. Este ATM proporcionaría aproximadamente la misma tasa de servicio que un empleado. Teniendo en cuenta que el uso inicial de esta tecnología podría ser mínimo, Shader estima que 20% de los clientes, principalmente los huéspedes más frecuentes, estarían dispuestos a usar las máquinas. (Esto podría ser una estimación conservadora si los huéspedes perciben beneficios directos por usar el cajero automático, como lo hacen los clientes bancarios. Citibank informa que alrededor de 95% de sus clientes en Manhattan usan sus cajeros automáticos). Donna establecería una sola cola para los clientes que prefieren registrarse con cajeros humanos. Éstos serían atendidos por los cinco cajeros, aunque Donna tiene la esperanza de que la máquina podría permitirle una reducción a cuatro.

Preguntas para análisis

1. Determine la cantidad promedio de tiempo que un cliente tarda en registrarse. ¿Cómo cambiaría esto con cada una de las opciones indicadas?
2. ¿Qué opción recomendaría usted?

Estudio de caso en Internet

Visite nuestra página en Internet, **www.pearsonenespañol.com/render** y consulte este estudio de caso adicional: **Pantry Shopper**. Este caso describe una mejora en el servicio prestado por una tienda de comestibles.

Bibliografía

Baldwin, Rusty O., Nathaniel J. Davis IV, Scott F. Midkiff y John E. Kobza. "Queueing Network Analysis: Concepts, Terminology, and Methods", *Journal of Systems & Software* 66, 2 (2003): 99-118.

Barron, K. "Hurry Up and Wait", *Forbes* (16 de octubre de 2000): 158-164.

Cayirli, Tugba y Emre Veral. "Outpatient Scheduling in Health Care: A Review of Literature", *Production and Operations Management* 12, 4 (2003): 519-549.

Cooper, R. B. *Introduction to Queuing Theory*, 2a. ed. Nueva York: Elsevier—North Holland, 1980.

De Bruin, Arnoud M., A. C. van Rossum, M. C. Visser y G. M. Koole. "Modeling the Emergency Cardiac Inpatient Flow: An Application of Queuing Theory", *Health Care Management Science* 10, 2 (2007): 125-137.

Derbala, Ali. "Priority Queuing in an Operating System", *Computers & Operations Research* 32, 2 (2005): 229-238.

Grassmann, Winfried K. "Finding the Right Number of Servers in Real-World Queuing Systems", *Interfaces* 18, 2 (marzo-abril de 1988): 94-104.

Janic, Milan. "Modeling Airport Congestion Charges", *Transportation Planning & Technology* 28, 1 (2005): 1-26.

Katz, K., B. Larson y R. Larson. "Prescription for the Waiting-in-Line Blues", *Sloan Management Review* (invierno de 1991): 44-53.

Koizumi, Naoru, Eri Kuno y Tony E. Smith. "Modeling Patient Flows Using a Queuing Network with Blocking", *Health Care Management Science* 8, 1 (2005): 49-60.

Larson, Richard C. "Perspectives on Queues: Social Justice and the Psychology of Queuing", *Operations Research* 35, 6 (noviembre-diciembre de 1987): 895-905.

Murtojärvi, Mika *et al*. "Determining the Proper Number and Price of Software Licenses", *IEEE Transactions on Software Engineering* 33, 5 (2007): 305-315.

Prabhu, N. U. *Foundations of Queuing Theory*. Norwell, MA: Kluewer Academic Publishers, 1997.

Regattieri, A., R. Gamberini, F. Lolli y R. Manzini. "Designing Production and Service Systems Using Queuing Theory: Principles and Application to an Airport Passenger Security Screening System", *International Journal of Services and Operations Management* 6, 2 (2010): 206-225.

Tarko, A. P. "Random Queues in Signalized Road Networks", *Transportation Science* 34, 4 (noviembre de 2000): 415-425.

Apéndice 12.1: Uso de QM para Windows

Para todos estos problemas, desde el menú Module, seleccione *Waiting Lines* y después *New* para introducir un nuevo problema. En seguida, seleccione el tipo de modelo que desea utilizar entre los que aparecen.

Este apéndice ilustra la facilidad de uso de QM para Windows en la solución de problemas de colas. El programa 12.5 representa el análisis del taller de silenciadores de Arnold con 2 servidores. Las únicas entradas requeridas son la selección del modelo adecuado, un título, indicar si se incluyen costos, las unidades de tiempo usadas para las tasas de llegada y de servicio (horas en este ejemplo), la tasa de llegada (2 autos por hora), la tasa de servicio (3 autos por hora) y el número de servidores (2). Debido a que las unidades de tiempo se especifican como horas, W y W_q se dan en horas, pero también se convierten a minutos y segundos, como se observa en el programa 12.5.

El programa 12.6 representa un modelo con tiempo de servicio constante, ilustrado en este capítulo mediante García-Golding Recycling, Inc. Los demás modelos de colas también pueden resolverse mediante QM para Windows que, además, ofrece un análisis de costos o económico.

PROGRAMA 12.5

Uso de QM para Windows para resolver un modelo de colas con múltiples canales (datos del taller de silenciadores de Arnold)

Cost analysis: No costs / Use Costs — Time unit (arrival, service rate): hours

Waiting Lines Results

(untitled) Solution

Parameter	Value	Parameter	Value	Minutes	Seconds
M/M/s		Average server utilization	0.3333		
Arrival rate(lambda)	2.	Average number in the queue(Lq)	0.0833		
Service rate(mu)	3.	Average number in the system(Ls)	0.75		
Number of servers	2.	Average time in the queue(Wq)	0.0417	2.5	150.
		Average time in the system(Ws)	0.375	22.5	1,350.

PROGRAMA 12.6

Uso de QM para Windows para resolver un modelo con tiempo de servicio constante (datos de García-Golding)

Cost analysis: No costs / Use Costs — Time unit (arrival, service rate): hours

Waiting Lines Results

Garcia-Golding Recycling, Inc. Solution

Parameter	Value	Parameter	Value	Minutes	Seconds
Constant service times		Average server utilization	0.6667		
Arrival rate(lambda)	8.	Average number in the queue(Lq)	0.6667		
Service rate(mu)	12.	Average number in the system(Ls)	1.3333		
Number of servers	1.	Average time in the queue(Wq)	0.0833	5.	300.
		Average time in the system(Ws)	0.1667	10.	600.

7-28 (a) Sí (b) No cambia

7-34 (a) 25 unidades del producto 1, 0 unidades del producto 2 (b) Se utilizan 25 unidades del recurso 1, holgura = 20; se utilizan 75 unidades del recurso 2, holgura = 12; se utilizan 50 unidades del recurso 3, holgura = 0; la restricción 3 es vinculante y las otras no lo son. (c) 0, 0 y 25 (d) Recurso 3. Hasta $25 (precio dual) (e) La utilidad total se reduciría en 5 (valor del costo reducido).

7-36 24 cocos, 12 pieles; utilidad = 5,040 rupias

7-42 Usar 7.5 lb de C-30, 15 lb de C-92, 0 lb de D-21 y 27.5 lb de E-11; costo = $ 3.35 por lb

Capítulo 8

8-2 (b) $50,000 en bonos LA, $ 175,000 en Medicamentos Palmer, $25,000 en Happy Days

8-4 1.33 libras de producto de avena para caballo, 0 libras de grano, 3.33 libras de producto mineral

8-6 6.875 anuncios en televisión; 10 anuncios en radio; 9 vallas publicitarias; 10 anuncios en periódicos

8-8 Usar 30 arrendamientos a 5 meses a partir de marzo, 100 arrendamientos de 5 meses a partir de abril, 170 arrendamientos de 5 meses a partir de mayo, 160 arrendamientos de 5 meses a partir de junio y 10 arrendamientos de 5 meses a partir de julio.

8-10 Enviar a 400 estudiantes del sector A a la escuela B, 300 del sector A a la escuela E, 500 del sector B a la escuela B, 100 del sector C a la escuela C, 800 del sector D a la escuela C y 400 del sector E a la escuela E.

8-12 (b) 0.499 lb de carne molida, 0.173 lb de pollo, 0.105 lb de espinaca y 0.762 lb de papas. Costo total = $1.75.

8-14 13.7 aprendices comienzan en agosto y 72.2 comienzan en octubre.

Capítulo 9

9-8 Des Moines a Albuquerque 200, Des Moines a Boston 50, Des Moines a Cleveland 50, Evansville a Boston 150, Ft. Lauderdale a Cleveland 250. Costo = $3,200.

9-10 25 unidades de Pineville a 3; 30 unidades de Oak Ridge a 2; 10 unidades de Oakville a 3; 30 unidades de Mapletown a 1. Costo = $230. Múltiples soluciones óptimas.

9-12 Costo total = $14,700.

9-14 Costo total = $635.

9-18 Los sistemas de Nueva Orleans cuestan = $20,000; los de Houston $19,500, por lo que se debería seleccionar Houston.

9-20 Costo óptimo usando East St. Louis: $17,400. Costo óptimo usando St. Louis: $17,250.

9-22 Trabajo A12 a la máquina *W*; trabajo A15 a la máquina *Z*; trabajo B2 a la máquina *Y*; trabajo B9 a la máquina *X*. Tiempo = 50 horas

9-24 4,580 millas

9-26 Calificación total = 335

9-28 Calificación total máxima = 75.5

9-30 (a) $2,591,200 (b) $2,640,400 (c) $2,610,100 y $2,572,100

9-34 200 en la ruta 1-2-5-7-8, 200 en la ruta 1-3-6-8 y 100 en la ruta 1-4-8. Total = 500. Esto aumenta a 700 con los cambios.

9-36 Flujo total = 13

9-38 La ruta más corta es 1-3-7-11-14-16. La distancia total es 74.

9-40 (a) 1,200 millas (b) 1,000 millas

9-42 Distancia total = 40

Capítulo 10

10-10 (a) 2 anuncios en horario estelar por semana, 4.25 anuncios en horario normal por semana, audiencia = 38,075 (b) 2 anuncios en horario estelar por semana, 4 anuncios en horario normal por semana, audiencia = 36,800 (c) 4 anuncios en horario estelar por semana, 1 anuncio en horario normal por semana, audiencia = 37,900

10-12 3 carteles grandes y 4 carteles pequeños

10-16 Construir en Mt. Auburn, Mt. Adams, Norwood, Covington y Eden Park.

10-18 (a) $X_1 \geq X_2$ (b) $X_1 + X_2 + X_3 = 2$

10-20 (b) 0 TV, 0.73 radio, 0 carteleras y 8.86 anuncios en periódicos

10-24 $X_1 = 15$, $X_2 = 20$

10-28 18.3 XJ6 y 10.8 XJ8; ingresos = 70,420.

10-30 0.333 en la acción 1 y 0.667 en la acción 2; varianza = 0.102; rendimiento = 0.09

Capítulo 11

11-18 (a) 0.50 (b) 0.50 (c) 0.97725 (d) 0.02275 (e) 43.84

11-20 (a) 0.0228 (b) 0.3085 (c) 0.8413 (d) 0.9772

11-24 14

11-28 (b) La ruta crítica A-C tarda 20 semanas; la ruta B-D tarda 18 semanas (c) 0.222 para A-C; 5 para B-D (d) 1.00 (e) 0.963 (f) la ruta B-D tiene más variabilidad y tiene mayor probabilidad de exceder las 22 semanas.

11-34 Sí. El costo de la aceleración es de $ 2,200.

Capítulo 12

12-10 Los costos totales para los empleados 1, 2, 3 y 4 son de $564, $428, $392 y $406, respectivamente.

12-12 (a) 4.167 autos (b) 0.4167 horas (c) 0.5 horas (d) 0.8333 (e) 0.1667

12-14 (a) 0.512, 0.410, 0.328 (b) 0.2 (c) 0.8 minutos (d) 3.2 (e) 4 (f) 0.429, 0.038 minutos, 0.15, 0.95

12-16 (a) 0.2687 horas (b) 3.2 (c) Sí. Ahorros = $142.50 por hora.

12-18 (a) 0.0397 horas (b) 0.9524 (c) 0.006 horas (d) 0.1524 (e) 0.4286 (f) 0.4 (g) 0.137

12-20 Con una persona, $L = 3$, $W = 1$ hora, $L_q = 2.25$ y $W_q = 0.75$ horas. Con dos personas, $L = 0.6$, $W = 0.2$ horas, $L_q = 2.225$ y $W_q = 0.075$ horas.

12-22 No

12-24 (a) 0.1333 horas (b) 1.333 (c) 0.2 horas (d) 2 (e) 0.333

12-26 (a) 80 clientes por día (b) 10.66 horas, $266.50 (c) 0.664, $16.60 (d) 2 cajeros, $208.60

12-30 (a) 0.576 (b) 1.24 (c) 0.344 (d) 0.217 horas (e) 0.467 horas

12-32 (a) 0.27 horas (b) 3.2 (c) 4 (d) 0.33 horas (e) 0.4096

Capítulo 13

13-14 No

13-16 Valor esperado de 6.35 (usando la fórmula). El número promedio es 7 en el problema 13-15.

13-18 (b) Número promedio retrasado = 0.40. Número promedio de llegadas = 2.07.

13-26 (a) El costo/hora suele ser más caro al reemplazar 1 pluma a la vez.
(b) Costo esperado/hora con la política de 1 pluma = $ 1.38 (o $58/avería); costo esperado/hora con la política de 4 plumas = $1.12 (o $132/avería).

Capítulo 14

14-8 (b) 90% (c) 30%

14-10 El próximo mes, 4/15, 5/15, 6/15. Tres meses, 0.1952, 0.3252, 0.4796

14-12 (a) 70% (b) 30% (c) 40%

14-14 25% para Battles; 18.75% para University; 26.25% para Bill's; 30% para College

14-16 111 en Northside, 75 en West End y 54 en Suburban

14-18 Horizon tendrá 104,000 clientes, y Local tendrá 76,000.

14-20 Nueva MFA = (5,645.16, 1,354.84)

14-22 50% Hicourt, 30% Printing House y 20% Gandy

14-26 La tienda 1 tendrá una tercera parte de los clientes, y la tienda 2 tendrá dos tercios.

Capítulo 15

15-8 De 45.034 a 46.966 para $\bar{x}$
De 0 a 4.008, para R

15-10 De 16.814 a 17.187 para $\bar{x}$.
De 0.068 a 0.932 para R

15-12 De 2.236 a 3.728 para $\bar{x}$
De 0 a 2.336 para R
En control

15-16 (a) 1011.8 para $\bar{x}$ y 96.3 para R (b) De 956.23 a 1067.37
(c) El proceso está fuera de control.

15-18 LCI = 0, LCS = 4

Módulo 1

M1-4 SUN – 0,80

M1-6 Lambda = 3.0445, valor de CI = 0.0223, RI = 0.58, CR = 0.0384

M1-8 Auto 1, 0.4045

M1-10 La Universidad B tiene el mayor promedio ponderado = 0.4995

Módulo 2

M2-6 1-2-6-7, con una distancia total de 10 millas.

M2-8 La ruta más corta es 1-2-6-7, con una distancia total de 14 millas.

M2-10 La ruta más corta es 1-2-5-8-9. Distancia = 19 millas.

M2-12 4 unidades del producto 1, 1 unidad del producto 2, y no hay unidades de los productos 3 y 4.

M2-14 Enviar 6 unidades del producto 1, 1 unidad del producto 2 y 1 unidad del producto 3.

M2-16 La ruta más corta es 1-3-6-11-15-17-19-20.

Módulo 3

M3-6 (a) OL = $8(20,000 − X) para $X \leq 20{,}000$; OL = 0 en otro caso (b) $0.5716 (c) $0.5716 (d) 99.99%
(e) Imprimir el libro

M3-8 (a) BEP = 1,500 (b) Utilidad esperada = $8,000

M3-10 (a) OL = $10(30 − X) para $X \leq 30$; OL = 0 de otro modo (b) EOL = $59.34 (c) EVPI = $59.34

M3-12 (a) Usar el nuevo proceso. Nuevo VME = $283,000.
(b) Aumentar el precio de venta.
Nuevo VME = $296,000.

M3-14 BEP = 4,955

M3-16 EVPI = $249.96

M3-18 EVPI = $51.24

Módulo 4

M4-8 Estrategia para X:X_2; estrategia para Y:Y_1; valor del juego = 6

M4-10 $X_1 = {}^{35}/_{57}$; $X_2 = {}^{22}/_{57}$; $Y_1 = {}^{32}/_{57}$; $Y_2 = {}^{25}/_{57}$; valor del juego = 66.70

M4-12 (b) $Q = 41/72$, $1 - Q = 31/72$; $P = 55/72$.
$1 - P = 17/72$

M4-14 Valor de juego = 9.33

M4-16 Existe un punto de silla. Shoe Town debería invertir $15,000 en publicidad y Fancy Foot debería invertir $20,000 en publicidad.

M4-18 Eliminar la estrategia dominada X_2. Después Y_3 está dominada y puede eliminarse. El valor del juego es 6.

M4-20 Jugar siempre con la estrategia A_{14}. $3 millones.

Módulo 5

M5-8 $X = {}^{-3}/_{2}$, $Y = {}^{1}/_{2}$; $Z = {}^{7}/_{2}$

M5-16 $\begin{pmatrix} {}^{-48}/_{60} & {}^{6}/_{60} & {}^{32}/_{60} \\ {}^{6}/_{60} & {}^{-12}/_{60} & {}^{6}/_{60} \\ {}^{12}/_{60} & {}^{6}/_{60} & {}^{-8}/_{60} \end{pmatrix}$

M5-18 $0X_1 + 4X_2 + 3X_3 = 28$; $1X_1 + 2X_2 + 2X_3 = 16$

Módulo 6

M6-6 (a) $Y'' = 12X - 6$ (b) $Y'' = 80X^3 + 12X$
(c) $Y'' = 6/X^4$ (d) $Y'' = 500/X^6$

M6-8 (a) $Y'' = 30X^4 - 1$ (b) $Y'' = 60X^2 + 24$
(c) $Y'' = 24/X^5$ (d) $Y'' = 250/X^6$

M6-10 $X = 5$ es el punto de inflexión.

M6-12 $Q = 2{,}400$, $TR = 1{,}440{,}000$

M6-14 $P = 5.48$

Módulo 7

M7-18 (b) $14X_1 + 4X_2 \leq 3{,}360$; $10X_1 + 12X_2 \leq 9{,}600$
(d) $S_1 = 3{,}360$, $S_2 = 9{,}600$ (e) X_2 (f) S_2
(g) 800 unidades de X_2 (h) 1,200,000

M7-20 $X_1 = 2$, $X_2 = 6$, $S_1 = 0$, $S_2 = 0$, $P = \$36$

M7-22 $X_1 = 14$, $X_2 = 33$, $C = \$221$

M7-24 No acotada

M7-26 Degeneración; $X_1 = 27$, $X_2 = 5$, $X_3 = 0$, $P = \$177$

M7-28 (a) Min. $C = 9X_1 + 15X_2$
$X_1 + 2X_2 \geq 30$
$X_1 + 4X_2 \geq 40$
(b) $X_1 = 0$, $X_2 = 20$, $C = \$300$

M7-30 8 mesas de café, 2 estantes para libros, utilidad = 96

M7-34 (a) De 7.5 al infinito (b) Del infinito negativo a $40
(c) $20 (d) $0

M7-36 (a) 18 modelo 102, 4 modelo H23
(b) S_1 = tiempo de holgura para soldadura
S_2 = tiempo de holgura para inspección
(c) Sí, el precio sombra es de $4
(d) No, el precio sombra es menor a $1.75.

M7-38 (a) Del infinito negativo a $6 para el fosfato;
De $5 al infinito para el potasio
(b) Las bases no cambiarán; pero X_1, X_2 y S_2 sí cambiarán.

M7-40 max $P = 50U_1 + 4U_2$
$12U_1 + 1U_2 \leq 120$
$20U_1 + 3U_2 \leq 250$

Módulo 8

M8-14 El costo total se mantiene sin cambios en $1,040.

M8-16 El costo total es $230.

M8-18 El costo total es $14,700.

M8-20 Desbalanceado, el costo total = $5,310

M8-22 Costo total = $28,300

M8-24 El trabajo A12 para la máquina *W*; el trabajo A15 para la máquina *Z*; el trabajo B2 para la máquina *Y*; el trabajo B9 para la máquina *X*; Tiempo = 50 horas

M8-26 (a) 4,580 (b) 6.040

M8-28 Total = 86

M8-32 Total de automóviles por hora = 5

M8-34 Distancia total = 430

M8-38 Total = 167 por día

M8-40 (a) La ruta más corta es 1-3-7-11-14-16 con una distancia de 74. (b) la distancia se incrementa en 2.

M8-42 (a) 1,200 millas (b) 1,000 millas

Apéndice H: Soluciones a las autoevaluaciones

Capítulo 1

1. c
2. d
3. b
4. b
5. c
6. c
7. d
8. c
9. d
10. a
11. a
12. c

Capítulo 2

1. c
2. b
3. a
4. d
5. b
6. c
7. a
8. c
9. b
10. d
11. b
12. a
13. a
14. b
15. a

Capítulo 3

1. b
2. c
3. c
4. a
5. c
6. b
7. a
8. c
9. a
10. d
11. b
12. c
13. c
14. a
15. c
16. b

Capítulo 4

1. b
2. c
3. d
4. b
5. b
6. c
7. b
8. c
9. a
10. b
11. b
12. c

Capítulo 5

1. b
2. a
3. d
4. c
5. b
6. b
7. d
8. b
9. d
10. b
11. c
12. d
13. b
14. c
15. b

Capítulo 6

1. e
2. e
3. c
4. c
5. a
6. b
7. d
8. c
9. b
10. a
11. a
12. d
13. d
14. d

Capítulo 7

1. b
2. a
3. b
4. c
5. a
6. b
7. c
8. c
9. b
10. c
11. a
12. a
13. a
14. a

Capítulo 8

1. a
2. b
3. d
4. e
5. d
6. c

Capítulo 9

1. d
2. b
3. c
4. b
5. d
6. b
7. b
8. d

Capítulo 10

1. a
2. b
3. a
4. a
5. a
6. b
7. b
8. b
9. d
10. b
11. e

Capítulo 11

1. e
2. c
3. a
4. d
5. b
6. c
7. b
8. a
9. b
10. b
11. a
12. a
13. ruta crítica (o crítica)
14. evaluación del programa y técnica de revisión
15. modelo de programación lineal
16. optimista, más probable, pesimista
17. holgura
18. monitorear y controlar

Capítulo 12

1. a
2. a

3. b
4. e
5. c
6. b
7. c
8. d
9. b
10. d
11. c
12. primero en llegar, primero en ser atendido
13. distribución exponencial negativa
14. simulación

Capítulo 13

1. b
2. b
3. a
4. b
5. a
6. a
7. d
8. a
9. b
10. b
11. d
12. d
13. c
14. e
15. (a) no, sí, no, no, no, sí, sí, sí, no, sí
    (b) sí, sí, sí, sí, no, sí, sí, no, no, no

Capítulo 14

1. b
2. a
3. c
4. c
5. b
6. a
7. a
8. a
9. b
10. matriz de probabilidades de transición
11. colectivamente exhaustivos, mutuamente excluyentes
12. vector de probabilidades de estado

Capítulo 15

1. b
2. c
3. d
4. a
5. c
6. b
7. c
8. d
9. b
10. b

Módulo 1

1. a
2. d
3. b
4. b
5. c
6. b
7. b
8. b

Módulo 2

1. c
2. b
3. e
4. c
5. b
6. a
7. c
8. e
9. a
10. a
11. c
12. c
13. b
14. b

Módulo 3

1. c
2. d
3. b
4. a
5. b
6. b
7. c

Módulo 4

1. b
2. a
3. c
4. b
5. b
6. b
7. a

Módulo 5

1. c
2. a
3. b
4. c
5. b
6. a
7. e
8. d

Módulo 6

1. a
2. d
3. a
4. b
5. c
6. d
7. d

Módulo 7

1. a
2. d
3. d
4. a
5. a
6. d
7. a
8. d
9. b
10. a
11. a
12. b
13. c
14. c
15. d
16. a
17. b

Módulo 8

1. c
2. b
3. b
4. a
5. b
6. b
7. a
8. b
9. a
10. b
11. b
12. b
13. b

Esta nueva edición de *Métodos cuantitativos para los negocios* proporciona las bases conceptuales y aplicativas para el análisis de negocios, los métodos cuantitativos y las ciencias de la administración.

En el texto se pone especial énfasis en el modelado y las aplicaciones computacionales con el uso de ejemplos ilustrativos. Los modelos matemáticos se presentan con un lenguaje accesible mientras que los procedimientos y ejemplos se abordan con instrucciones detalladas y paso a paso.

Entre las novedades de esta edición sobresalen las siguientes:

- Proporciona una introducción al análisis de negocios.
- Incorpora el uso de Excel 2013 a lo largo del libro.
- Integra los modelos de transporte, asignación y redes en un capítulo que se enfoca en el modelado con programación lineal.
- Ofrece 8 módulos que refuerzan la mayoría de los temas que se tratan a lo largo del libro.
- Un módulo adicional que combina los algoritmos especializados para los métodos de transporte, asignación y redes.
- Nuevos ejemplos; más de 25 problemas; 8 análisis cuantitativos; 4 modelados en el mundo real, y 3 nuevos estudios de caso. Además, se han actualizado muchos problemas y casos prácticos, y se incluyen problemas resueltos al final de cada capítulo, así como preguntas de análisis.
- Un mayor número de recuadros del tipo: Modelado, Procedimiento, Historia y Análisis Cuantitativo en acción (AC en acción).
- Notas al margen, un glosario, ecuaciones clave y estudios de caso en todos los capítulos, proporcionan información que complementa cada uno de los temas.

- Notas al margen, un glosario, ecuaciones clave y estudios de caso en todos los capítulos, proporcionan información que complementa cada uno de los temas.

Los programas Excel QM y POM-QM para Windows, así como problemas, nuevos casos y material adicional se encuentran disponibles en el sitio web de este libro. Para más información sobre este libro y los recursos adicionales para profesores y estudiantes visite:

www.pearsonenespañol.com/render

www.pearsonenespañol.com

ISBN 978-607-32-3761-1
90000
9 786073 237611